

Vivian L. Mendonça

# Biologia

ENSINO MÉDIO  
BIOLOGIA  
3º ANO

Volume  
**3**

- > O Ser Humano
- > Genética
- > Evolução

MANUAL DO  
PROFESSOR

**AJS**





# Biologia



- > O SER HUMANO
- > GENÉTICA
- > EVOLUÇÃO



**Vivian L. Mendonça**

Licenciada e bacharel em Ciências Biológicas pelo Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo (USP). Mestra em Ciências pelo Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo (USP). Professora da Rede Privada de Ensino na cidade de São Paulo.

3ª edição  
SÃO PAULO  
2016



Mendonça, Vivian L.

Biologia : o ser humano, genética, evolução :  
volume 3 : ensino médio / Vivian L. Mendonça. --  
3. ed. -- São Paulo : Editora AJS, 2016. --  
(Coleção biologia)

Componente curricular : Biologia  
Suplementado pelo manual do professor.  
Bibliografia.

ISBN 978-85-8319-122-3 (aluno)  
ISBN 978-85-8319-123-0 (professor)

1. Biologia (Ensino médio) I. Título.  
II. Série.

16-03585

CDD-574.07

Índices para catálogo sistemático:

1. Biologia : Ensino médio 574.07

### Editores

Arnaldo Saraiva

Joaquim Saraiva

### Apoio administrativo

Elizabeth Portela

José Márcio Teixeira

William Lange

### Apoio digital

Nelson Quaresma

Thiago Ferreira

### Direção editorial

Vivian L. Mendonça

### Gerência editorial

Michelle Beralde

### Produção editorial

Editora AJS

### Pesquisa iconográfica

Cláudio Perez

### Leitura crítica

Carla Newton Scrivano

### Revisão

Janaína L. Andreani Higashi (coordenação)

Vivian Nunes

### Projeto gráfico e capa

Nelson Arruda

Thiago Oliver

### Edição de arte

Nelson Arruda

Thiago Oliver

### Editoração eletrônica

Nelson Arruda

Thiago Oliver

Saguy/Sammartes

### Imagem da capa

Ari V/Shutterstock



Copyright © 2013 by Editora AJS Ltda.

Rua Xavantes, 719 - sala 632

CEP 03027-000 – São Paulo – SP

Tel.: (11) 2081-4677

Fax: (11) 2081-4677

editora@editoraajs.com.br

site: www.editoraajs.com.br

Impresso no Parque Gráfico da Editora FTD S.A.

CNPJ 61.186.490/0016-33

Avenida Antonio Bardella, 300

Guarulhos-SP – CEP 07220-020

Tel. (11) 3545-8600 e Fax (11) 2412-5375

"Em respeito ao meio ambiente, as folhas deste livro foram produzidas com fibras obtidas de árvores de florestas plantadas, com origem certificada."





## <Prezado Professor>

No sentido de contribuir com seu trabalho em sala de aula, estamos oferecendo-lhe uma coleção de Biologia em três volumes, de aspecto agradável, interessante, ricamente ilustrada e, acima de tudo, atualizada, completa e adequada às necessidades do estudante do Ensino Médio.

Trata-se de um livro dosado, sem excessos, nem faltas. Os conceitos são abordados de modo contextualizado, possibilitando aos estudantes compreender a Biologia como Ciência dinâmica, pois dinâmica é a vida, em constante transformação. Oferecemos sugestões de atividades e leituras que, sob sua orientação, podem contribuir com o desenvolvimento cognitivo dos alunos.

Da mesma forma que os conhecimentos em Biologia estão interligados, existem fortes relações entre essa e as outras Ciências da Natureza (Química e Física), e também com outras áreas, como a Geografia e a Matemática. Além disso, o estudo dos seres vivos ocorre em determinado contexto social, cultural e histórico, o que amplia ainda mais as relações que podemos fazer entre conceitos da Biologia e outros campos do conhecimento. Nesta coleção, essas relações estão presentes nos textos e nas atividades, buscando ampliar a compreensão do mundo.

Nos livros desta coleção, os estudantes são convidados a relacionar conceitos entre si e com observações que fazem em seu cotidiano, na região onde moram. A seleção de temas e sua abordagem também foram feitas com o objetivo de abrir oportunidades de refletir a respeito tanto de sua realidade local quanto global, e de tomar decisões sustentáveis em sua vida, que favoreçam a conservação do meio ambiente e de sua saúde.

Trata-se, enfim, de um livro capaz de ajudar o jovem a conquistar novos espaços com vista na sua formação profissional, mas também capaz de permitir-lhe a utilização prática de seus conhecimentos, como cidadão consciente integrado à sociedade e à natureza.

Ficamos honrados em poder servir como recurso didático e de apoio às suas aulas e estamos à disposição para esclarecimentos, sugestões e críticas. Desejamos estabelecer uma parceria Autor-Professor(a), na promoção de um ensino de Biologia que contribua efetivamente para a formação de cidadãos brasileiros conscientes e responsáveis.

Sucesso!

*A autora e os editores*



# Conheça a estrutura deste livro

## Organização dos temas



Este livro está organizado em 3 unidades temáticas, que iniciam com uma imagem de abertura e uma lista de questões intrigantes, cujas respostas você encontrará ao longo dos capítulos. A lista das unidades e dos capítulos consta do sumário.

Os capítulos estão organizados em itens e subitens numerados, que permitem localizar facilmente os temas. Imagens complementam os textos, para melhor compreensão de cada assunto.

## Glossário etimológico

Compreender o significado de uma palavra é muito melhor do que apenas memorizá-la. Pensando nisso, no final do livro você encontra um glossário etimológico, com o qual é possível compreender a origem e o significado de diversos termos próprios da Biologia.

## Boxes complementares

DIVULGAÇÃO PNLD

## Seções



Para toda regra, há exceção, e essa máxima também vale para a Biologia. Na seção *Vamos criticar o que estudamos?*, alguns assuntos abordados no capítulo são analisados de maneira crítica.

Em *Leitura*, você encontra textos para aprofundamento de um tema, muitas vezes relacionando-o a outras áreas do conhecimento e com assuntos da atualidade. Quando o texto foi retirado de uma obra ou quando foram utilizadas fontes de consulta, elas estão indicadas e, assim, você pode conferir essas referências quando quiser se aprofundar no assunto. Na Ciência também é assim: as informações são sempre fornecidas com base em trabalhos publicados anteriormente. Ao final de cada leitura, são propostas atividades para auxiliar e ampliar a interpretação do texto.

Ao final de cada capítulo, há sugestões de *Atividades* para você resolver no caderno.



### CURIOSIDADE

Aqui você encontra informações interessantes a respeito de um tema abordado no capítulo.



### ATENÇÃO

Lembretes importantes relacionados ao tema estudado são colocados neste box.



### RECORDE-SE

Este box ajuda a relembrar conceitos importantes para o entendimento de um tema.



### MULTIMÍDIA

Dicas de livros, sites e filmes; o ícone indica qual deles está sendo recomendado.



### PENSE E RESPONDA

Questões para você resolver no caderno, usando seus conhecimentos e seu raciocínio.



### REÚNA-SE COM OS COLEGAS

Sugestões de atividades para fazer em equipe, exigindo organização das tarefas e criatividade.



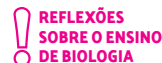
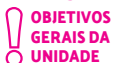
## ATIVIDADE PRÁTICA

Roteiros que envolvem seleção de materiais e sequência de procedimentos, para você e seus colegas realizarem observações, elaborarem e testarem hipóteses ou verificarem experimentalmente determinados fenômenos, sempre sob a supervisão do professor.



## Símbolos nas imagens

Professor: comentários e informações para auxiliarem o seu trabalho em sala de aula estão presentes ao longo dos capítulos, na cor magenta. Os seguintes ícones aparecem como lembretes para consulta ao Manual:



< Esquemas ou ilustrações, em que as cores nem sempre correspondem exatamente às cores reais dos objetos representados, devido à sua finalidade didática.



< Visualização à vista desarmada (a olho nu) – para objetos grandes, até o mínimo de 10 milímetros (mm) em sua maior dimensão.



< Imagem obtida com uso de lupa ou de microscópio estereoscópico de luz – para objetos de 100 mm a 1 mm.

Quando aparecer um dos símbolos abaixo, trata-se de uma micrografia, ou imagem obtida ao microscópio. Utilizamos este símbolo apenas para facilitar a identificação; os microscópios eletrônicos são muito diferentes dos microscópios de luz.



< Imagem obtida ao microscópio de luz, apresentando material tratado com corantes e/ou técnicas especiais – para objetos de 10 mm a 0,01 mm.



< Imagem obtida ao microscópio eletrônico de transmissão, colorizada artificialmente – para objetos de 0,1 mm a 0,0001 mm.



< Imagem obtida ao microscópio de luz, ou óptico, apresentando a cor natural do material – para objetos de 10 mm a 0,01 mm.



< Imagem obtida ao microscópio eletrônico de varredura, colorizada artificialmente – para objetos de 10 mm a 0,0001 mm.

## As figuras estão representadas em diferentes escalas.



^ Este comentário aparece nas imagens que apresentam organismos ou estruturas sem utilizar a mesma escala. Por exemplo: em uma fotomontagem, colocando um gato e um carrapato na mesma escala, seria difícil visualizar o carrapato. Assim, o gato estará representado em uma escala reduzida em relação ao seu tamanho natural, enquanto o carrapato estará em escala ampliada em relação às suas dimensões reais.

## Além do livro...

Você pode conhecer mais a respeito dos temas abordados neste livro por meio das dicas do box *Multimídia* e de pesquisas em jornais, revistas, outros livros e recursos digitais. Buscar novos conhecimentos e compartilhar com os colegas suas descobertas é uma excelente maneira de ampliar sua visão de mundo e exercitar sua autonomia.

Para encontrar informações relevantes e corretas ao fazer uma pesquisa na internet, é fundamental escolher boas referências e tomar alguns cuidados importantes:

- > Escolha um *site* de busca confiável e delimite o assunto a pesquisar, pois quanto mais amplo o tema, maior a dificuldade em encontrar o que deseja.
- > Escolha palavras-chave que levem diretamente ao que deseja saber. Dica: use duas ou mais palavras.
- > Confira se escreveu corretamente as palavras, pois erros ortográficos podem atrapalhar a busca.
- > Tenha instalado no navegador da internet uma ferramenta de segurança contra conteúdos impróprios e vírus.
- > Dê sempre preferência aos *sites* de organizações governamentais, instituições de pesquisa ou ONGs bem estabelecidas, pois elas costumam ser mais exigentes quanto à qualidade de suas publicações.
- > Evite *sites* escritos por indivíduos ou grupos com alguma linha específica de pensamento, pois o conteúdo pode ser de caráter opinativo e não imparcial.
- > Compare as informações encontradas em dois ou mais *sites* para garantir a veracidade dos dados.

Ao fazer uma pesquisa, anote os dados relevantes e registre sempre as fontes de onde foram coletados. Pesquisar além do livro é uma ótima forma de rever conceitos e aprofundar seus conhecimentos.

Veja no Manual mais informações a respeito de pesquisas na internet.



# Sumário

## UNIDADE 1

### Ser humano: fisiologia e saúde.....10

#### Capítulo 1

##### Locomoção.....11

##### 1 Introdução.....11

##### 2 Aparelho locomotor.....13

##### 3 Sistema esquelético.....14

##### <3.1> Esqueleto.....14

##### 4 Sistema articular.....17

##### 5 Sistema muscular.....19

##### <5.1> Contração muscular.....21

##### VAMOS CRITICAR O QUE ESTUDAMOS?.....24

##### LEITURA.....25

##### ATIVIDADES.....28

#### Capítulo 2

##### Coordenação nervosa e sentidos.....31

##### 1 Organização do sistema nervoso.....31

##### <1.1> Parte central do sistema nervoso.....32

##### <1.2> Parte periférica do sistema nervoso.....34

##### 2 Sentidos.....37

##### <2.1> Tato.....39

##### <2.2> Visão.....40

##### <2.3> Audição.....43

##### <2.4> Paladar.....45

##### <2.5> Olfato.....45

##### <2.6> Integração dos sentidos.....46

##### VAMOS CRITICAR O QUE ESTUDAMOS?.....47

##### LEITURA.....48

##### ATIVIDADES.....52

#### Capítulo 3

##### Digestão e nutrição.....55

##### 1 Digestão.....55

##### <1.1> O que são enzimas?.....56

##### 2 Sistema digestório humano.....58

##### <2.1> Boca: ingestão e início da digestão do alimento.....59

##### <2.2> Faringe e esôfago.....60

##### <2.3> Estômago.....61

##### <2.4> Intestino delgado e glândulas anexas.....63

##### <2.5> Intestino grosso.....65

##### <2.6> Controle da ação digestiva.....65

##### 3 Nutrição e saúde.....66

##### <3.1> Tipos de nutrientes.....66

##### <3.2> Segurança alimentar.....71

##### VAMOS CRITICAR O QUE ESTUDAMOS?.....73

##### LEITURA.....74

##### ATIVIDADES.....76

#### Capítulo 4

##### Respiração, circulação e excreção.....80

##### 1 Introdução.....80

##### 2 Sistema respiratório.....81

##### <2.1> Inalação do ar.....82

##### <2.2> Ventilação pulmonar.....85

##### <2.3> Controle da ventilação pulmonar.....86

##### <2.4> Alvéolos: superfícies de trocas gasosas.....86

##### <2.5> Transporte dos gases respiratórios.....88



<b>3 Sistema cardiovascular</b>	<b>90</b>
<3.1> Coração	90
<3.2> Vasos sanguíneos	92
<3.3> Circulação sanguínea	93
<3.4> Sangue	94
<b>4 Circulação linfática</b>	<b>97</b>
<4.1> Defesa do organismo contra antígenos	98
<b>5 Manutenção da temperatura     interna nos seres humanos</b>	<b>100</b>
<b>6 Sistema urinário</b>	<b>101</b>
VAMOS CRITICAR O QUE ESTUDAMOS?	103
LEITURA	104
ATIVIDADES	105

## Capítulo 5

### Controle hormonal e reprodução 109

<b>1 Controle hormonal</b>	<b>109</b>
----------------------------	------------

<b>2 Sistema endócrino do ser humano</b>	<b>110</b>
<2.1> Glândulas e funções dos hormônios secretados por elas	111
<2.2> Regulação hormonal por feedback	114
<b>3 Ciclo menstrual</b>	<b>115</b>
<3.1> Placenta	116
<b>4 Reprodução humana</b>	<b>117</b>
<4.1> Sistema genital feminino	117
<4.2> Sistema genital masculino	118
<4.3> Ato sexual	119
<4.4> Doenças sexualmente transmissíveis	120
<4.5> Métodos anticoncepcionais	122
VAMOS CRITICAR O QUE ESTUDAMOS?	125
LEITURA	126
ATIVIDADES	128

## UNIDADE 2

<b>Genética</b>	<b>131</b>
-----------------	------------

## Capítulo 6

### Primeira Lei de Mendel 132

<b>1 Início da Genética</b>	<b>132</b>
<b>2 O trabalho de Mendel     e a Primeira Lei</b>	<b>133</b>
<b>3 Heredogramas</b>	<b>140</b>
<b>4 Cruzamento-teste</b>	<b>141</b>
<b>5 Exemplo de monoibridismo</b>	<b>142</b>
<5.1> Sistema Rh	142
<b>6 Monoibridismo e modificações     nas proporções fenotípicas</b>	<b>143</b>
<6.1> Ausência de dominância	143
<6.2> Alelos letais	144

VAMOS CRITICAR O QUE ESTUDAMOS?	146
LEITURA	147
ATIVIDADES	149

## Capítulo 7

### Polialelia 152

<b>1 Conceitos básicos</b>	<b>152</b>
<b>2 Herança da cor da pelagem     em coelhos</b>	<b>153</b>
<b>3 Herança dos grupos sanguíneos     do sistema ABO</b>	<b>155</b>
<3.1> Determinação do grupo sanguíneo (ABO)	156
<3.2> Determinação do fator Rh	158

**4 Transfusão de sangue..... 159**

VAMOS CRITICAR O QUE ESTUDAMOS?..... 160

LEITURA..... 161

ATIVIDADES..... 162

**Capítulo 8****Segunda Lei de Mendel..... 165****1 Mendel e a herança de dois caracteres..... 165****2 Probabilidade e leis de Mendel ..... 169**

VAMOS CRITICAR O QUE ESTUDAMOS?..... 171

LEITURA..... 172

ATIVIDADES..... 174

**Capítulo 9****Genética pós-Mendel..... 178****1 Introdução ..... 178****2 Pleiotropia e interação gênica..... 178**

&lt;2.1&gt; Um caso de pleiotropia..... 179

&lt;2.2&gt; Um caso de interação gênica..... 179

&lt;2.3&gt; Outros casos de interação gênica..... 181

**3 Vinculação ou ligação gênica..... 184**

&lt;3.1&gt; Ligação gênica e permutação..... 187

**4 Herança do sexo na espécie humana..... 189****5 Herança ligada ao sexo e herança holândrica..... 189**

&lt;5.1&gt; Daltonismo: exemplo de herança ligada ao sexo..... 190

&lt;5.2&gt; Outro caso de herança ligada ao sexo: hemofilia..... 191

**6 Herança influenciada pelo sexo..... 192****7 Herança limitada ao sexo ..... 192**

VAMOS CRITICAR O QUE ESTUDAMOS?..... 193

LEITURA..... 194

ATIVIDADES..... 196

**Capítulo 10****Biologia molecular do gene: síntese proteica e engenharia genética..... 200****1 Introdução..... 200****2 Síntese de proteínas..... 200**

&lt;2.1&gt; Transcrição..... 202

&lt;2.2&gt; Tradução ..... 203

**3 Mutações no material genético..... 207****4 Biotecnologia e engenharia genética..... 208**

&lt;4.1&gt; Organismos geneticamente modificados..... 209

&lt;4.2&gt; Projeto Genoma ..... 210

&lt;4.3&gt; Terapia gênica..... 211

&lt;4.4&gt; Clonagem ..... 212

VAMOS CRITICAR O QUE ESTUDAMOS?..... 215

LEITURA..... 216

ATIVIDADES..... 217

**UNIDADE 3****Evolução..... 221****Capítulo 11****Evolução: conceito e evidências..... 222****1 Introdução..... 222****2 Evidências da evolução: descobrindo relações de parentesco..... 223**



2.1	Fósseis	224
2.2	Comparação anatômica entre seres vivos atuais	225
2.3	Órgãos vestigiais	227
2.4	Comparação entre moléculas	227

3	Cladograma: representando o parentesco evolutivo em um diagrama	228
---	---	-----

4	Adaptação e teorias evolutivas	230
4.1	Jean-Baptiste Lamarck	230
4.2	Charles Darwin	231

5	Irradiação adaptativa e evolução convergente	236
---	--	-----

6	Potencial biótico e resistência do meio	237
---	---	-----

VAMOS CRITICAR O QUE ESTUDAMOS?		238
---------------------------------	--	-----

LEITURA		239
---------	--	-----

ATIVIDADES		241
------------	--	-----

## Capítulo 12

Teoria sintética da evolução, especiação e genética de populações		244
---	--	-----

1	Introdução	244
---	------------	-----

2	Teoria sintética da evolução	245
---	------------------------------	-----

2.1	Mutação gênica	246
2.2	Recombinação gênica	247
2.3	Migração	247
2.4	Seleção natural	248
2.5	Deriva genética	250

3	Genética de populações	250
---	------------------------	-----

4	Especiação	252
---	------------	-----

VAMOS CRITICAR O QUE ESTUDAMOS?		255
---------------------------------	--	-----

LEITURA		256
---------	--	-----

ATIVIDADES		257
------------	--	-----

## Capítulo 13

Evolução humana		261
-----------------	--	-----

1	Introdução	261
---	------------	-----

1.1	Como é feito o estudo científico do passado?	261
-----	--	-----

2	Escala do tempo geológico e surgimento da espécie humana	262
---	--	-----

3	Primatas	266
---	----------	-----

4	Primeiros hominídeos	268
---	----------------------	-----

4.1	Australopithecíneos	269
-----	---------------------	-----

4.2	<i>Homo habilis</i>	270
-----	---------------------	-----

4.3	<i>Homo ergaster</i> e <i>Homo erectus</i>	270
-----	--	-----

4.4	Neandertais	271
-----	-------------	-----

4.5	<i>Homo sapiens</i>	271
-----	---------------------	-----

5	Migração da espécie humana pelos continentes	272
---	--	-----

VAMOS CRITICAR O QUE ESTUDAMOS?		273
---------------------------------	--	-----

LEITURA		275
---------	--	-----

ATIVIDADES		277
------------	--	-----

Glossário etimológico		281
-----------------------	--	-----

Índice remissivo		282
------------------	--	-----

Bibliografia		287
--------------	--	-----

## UNIDADE

# 1

# Ser humano: fisiologia e saúde

! OBJETIVOS  
GERAIS DA  
UNIDADE

! ABERTURA  
DA UNIDADE

DIVULGAÇÃO PNLD

Richard Schultz/Corbis/Latinstock

### Entre outras questões, vamos estudar:

- ⟨⟩ Como o esqueleto e a musculatura atuam na produção dos movimentos do corpo?
- ⟨⟩ Como o sistema nervoso coordena as funções no corpo?
- ⟨⟩ O que significa alimentar-se de forma balanceada?
- ⟨⟩ Existe relação entre respiração, circulação e excreção?
- ⟨⟩ De que forma os hormônios controlam o funcionamento do organismo?
- ⟨⟩ O que é ciclo menstrual e quais são os métodos anticoncepcionais?

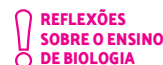
Herdamos de nossos pais as características da espécie humana. Conhecer o funcionamento do corpo é importante para entender como manter a saúde.

## capítulo

## 1

## Locomoção

A nomenclatura em anatomia humana está atualizada de acordo com a obra *Tratado de Anatomia Aplicada*, do Prof. Liberato Di Dio, vol. 1 e 2, Poluss, 1999. O tradicional “sistema digestivo”, por exemplo, passou a ser denominado “sistema digestório”. Veja mais comentários no Manual.



## 1 Introdução

Neste capítulo e nos seguintes, vamos estudar tópicos de anatomia e de fisiologia humana, relacionando-os a escolhas e atitudes fundamentais para a manutenção da saúde.

A palavra **anatomia** tem origem grega e significa seccionar, ou separar em partes. Assim, a anatomia é o estudo das partes do corpo, de sua estrutura, tanto externa quanto interna. A anatomia sempre foi de interesse do ser humano, que buscou desde a Antiguidade entender como o corpo está organizado.

Os cientistas e médicos utilizam uma linguagem padronizada para se referir à localização de uma estrutura ou a uma região mais ampla do corpo. A imagem ao lado mostra algumas regiões do corpo observáveis externamente e os termos usados em anatomia para se referir a elas.

A **fisiologia**, por sua vez, é o estudo (*logia*) das funções (*fisio*), ou seja, busca compreender como funcionam as partes que formam a estrutura do corpo.

Em nosso estudo, vamos abordar as relações entre forma e função de partes do corpo humano.

## Regiões anatômicas do corpo



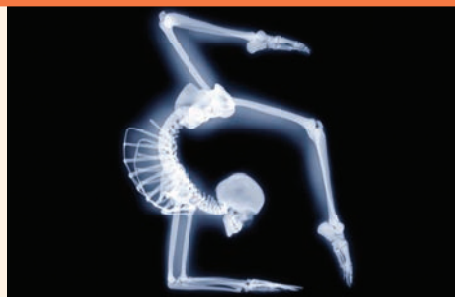
Steffen Thalemann/Corbis/Latinstock



## PENSE E RESPONDA

A imagem ao lado é uma radiografia do esqueleto do ser humano. Com base na imagem e usando seus conhecimentos, responda no caderno:

- Quais tipos de ossos você consegue distinguir no esqueleto?
- Sendo os ossos estruturas rígidas, como os movimentos do corpo são possíveis?



GUSTOIMAGES

a) Resposta pessoal. É possível distinguir o crânio (formado por vários ossos), os ossos longos como o fêmur e o úmero, entre outros.  
b) Os movimentos ocorrem porque existem articulações entre diversos ossos. A resposta, neste momento inicial, pode ser pessoal.




**MULTIMÍDIA**

**Laminário virtual: Tecidos de sustentação e revestimento**

<<http://www.bdc.ib.unicamp.br/bdc/visualizarMaterial.php?idMaterial=808#.VvvnHGQrJQM>>

Com este simulador, você poderá ter uma experiência semelhante à de visualizar tecidos ao microscópio óptico. Há cortes histológicos de tecido ósseo, que você poderá ver em diferentes aumentos.

Acesso em: 30 mar. 2016.



O **corpo**, ou **organismo**, é um conjunto de **sistemas** que funcionam de forma integrada. São diversos os sistemas que compõem o organismo humano, entre eles: o esquelético, o muscular, o nervoso, o digestório, o respiratório, o cardiovascular, o urinário e o genital.

Cada sistema é formado por um conjunto de **órgãos**. Vamos considerar como exemplo o sistema digestório humano. Ele é formado por boca, esôfago, estômago, intestino delgado, intestino grosso, reto e ânus, além do fígado, das glândulas salivares e do pâncreas.

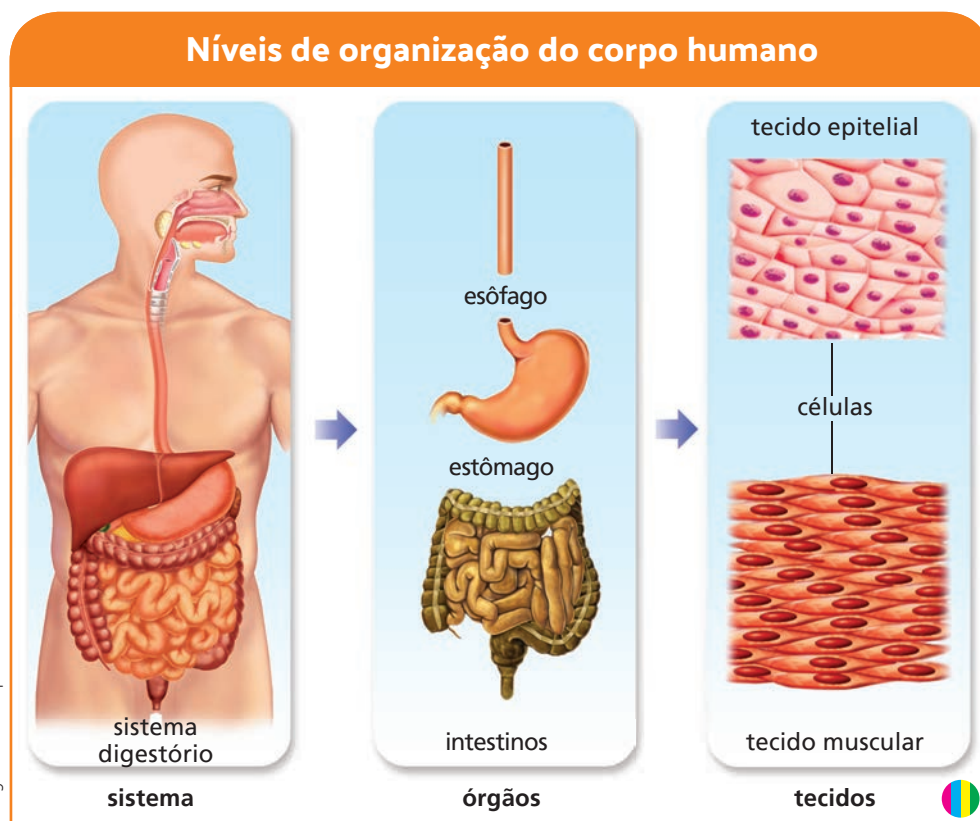
Cada órgão, por sua vez, é formado por diversos **tecidos**. O estômago, por exemplo, apresenta tecido epitelial de revestimento externo e um epitélio de revestimento interno. Entre esses dois epitélios, há camadas de tecido muscular liso ou não estriado, que promovem as contrações do estômago. Esses e outros tecidos são distinguidos quando cortes finos de um órgão são vistos ao microscópio.

Com o uso do microscópio também é possível verificar que cada tecido é formado por um conjunto de **células**, que juntas realizam determinada função, de modo integrado. As células de um tecido também produzem e liberam uma substância intercelular, ou seja, que fica entre as células e é importante para manter o tecido unido e para a troca de substâncias entre as células.

Assim, o corpo humano pode ser estudado nos seguintes níveis: organismo, sistema, órgão, tecido e célula. Esses níveis são interdependentes. A falta de determinadas moléculas em nossa alimentação, por exemplo, afeta células, podendo causar danos ao funcionamento de tecidos e órgãos onde essas células se localizam. Um dano em um órgão do corpo pode, da mesma forma, resultar na morte de células que o constituem. Ao estudar o corpo humano, portanto, você vai relembrar diversos conceitos já estudados em Biologia: células e metabolismo celular, histologia e embriologia, entre outros.

- Esquema mostrando diferentes **níveis de organização do corpo humano**: um sistema, órgãos e tecidos, formados por células. O sistema representado é o digestório, destacando apenas alguns órgãos e tecidos que fazem parte dele.

As figuras estão representadas em diferentes escalas.



Osvaldo Sequeitin/Luis Moura/Arquivo da editora

## 2 Aparelho locomotor

Neste capítulo, vamos estudar a locomoção, que envolve os sistemas esquelético, articular e muscular.

O **sistema esquelético** é formado pelos ossos e pelas cartilagens associadas a eles. Os ossos são estruturas rígidas e resistentes, que sustentam o corpo. As cartilagens são formadas por tecido cartilaginoso e revestem as extremidades dos ossos já formados, tornando lubrificada a região de contato entre os ossos.

Como os ossos, que são estruturas rígidas, promovem os movimentos do corpo?

O **sistema articular** corresponde às articulações, que são as regiões onde um osso se encontra com outro. Muitas dessas articulações possibilitam movimentos relativos entre um osso e outro. Na região dessas articulações, os ossos são puxados pelos músculos.

O **sistema muscular** é formado por três tipos de músculos: estriado esquelético, estriado cardíaco e não estriado. Os três tipos de tecido muscular possuem diferenças em sua estrutura e funcionamento. Vamos considerar, neste capítulo, a musculatura estriada esquelética, associada à função de locomoção.

Assim, os movimentos de nosso corpo dependem da integração desses três sistemas: o esquelético, o muscular e o articular. Esse conjunto de sistemas forma o **aparelho locomotor**.

A principal obra de anatomia e fisiologia usada como referência é *Corpo humano – fundamentos de Anatomia e Fisiologia*, de G. J. Tortora e S. R. Grabowski, 6. ed. Artmed, 2008.



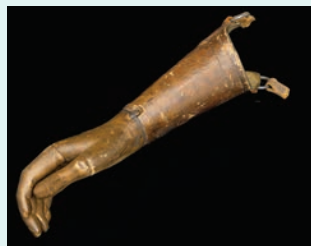
< Ilustração do **aparelho locomotor** do ser humano, composto por músculos, ossos, cartilagens e articulações.



### CURIOSIDADE

Os avanços científicos e tecnológicos têm permitido o desenvolvimento de **próteses** que substituem membros, mãos e pés, tornando-as cada vez mais confortáveis, leves e eficientes.

Antigamente, as próteses de mão eram peças rígidas de madeira ou ganchos. Hoje em dia, as próteses de mão reproduzem, em suas peças, os ossos e as articulações responsáveis pelos movimentos dos dedos. Fios puxam as peças rígidas, atuando como a musculatura que puxa os ossos, causando o movimento na região da articulação. O estudo de como funciona o cérebro e como ele coordena as funções motoras está causando o desenvolvi-



Science & Society Picture Library/SSPL/Getty Images

^ Prótese de mão, feita de madeira e couro, do final do século XIX.

mento de próteses biônicas, que podem ser controladas pelo pensamento. Há modelos também que podem ser controlados por aplicativo de celular.

Saiba mais a respeito de um dos modelos de mão biônica, que até 2015 estava em fase de testes, em: <<http://cienciahoje.uol.com.br/noticias/2013/02/mao-bionica>>.

Acesso em: 08 mar. 2016.



Jeff Pachoud/ARPI/Getty Images

^ A prótese usada pelo garoto é mecânica e feita de plástico, em uma impressora 3D. Além de ser leve, tem a vantagem de possuir baixo custo de produção.



### MULTIMÍDIA

#### A evolução do homem

<<http://teca.cecierj.edu.br/arquivo/animacao/45478.swf>>

Este infográfico interativo explica, com imagens simples e humor, como as características do aparelho locomotor do ser humano se relacionam ao nosso hábito bípede e o papel que elas tiveram na evolução dos hominídeos.

Acesso em: 08 mar. 2016.



Reprodução

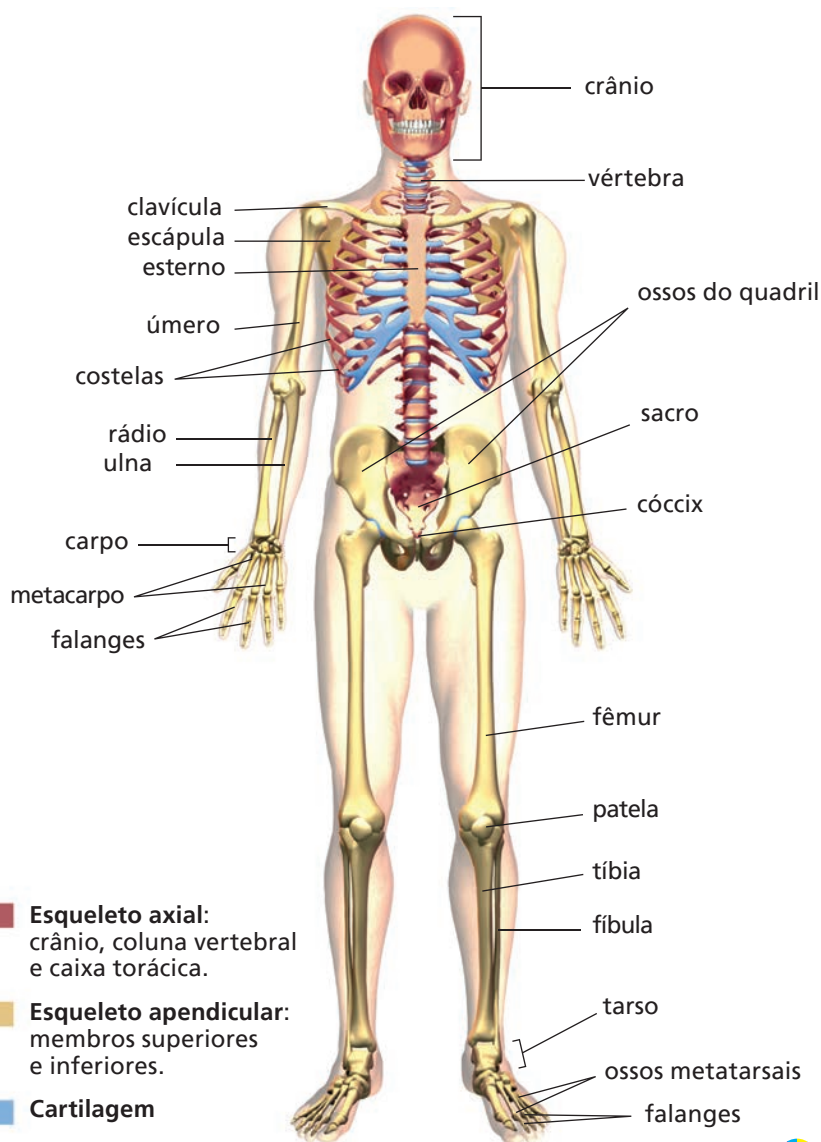
## 3 Sistema esquelético

### 3.1 Esqueleto

Os ossos e as cartilagens associadas a eles formam o **sistema esquelético**, envolvido em movimentos do corpo, como caminhar, segurar objetos, mover a cabeça, morder alimentos, inspirar e expirar. O **esqueleto ósseo** corresponde ao conjunto de ossos do sistema esquelético.

Além de sua função na realização de movimentos, o esqueleto é o eixo de sustentação do corpo, pois os ossos são pontos de fixação da maioria dos músculos esqueléticos.

#### Esqueleto do ser humano



A postura ereta e a locomoção bípede, características exclusivas dos seres humanos, estão diretamente relacionadas à disposição dos ossos que compõem o esqueleto. Além do arranjo entre os ossos, alguns apresentam modificações em relação aos ossos correspondentes de outros mamíferos, constituindo adaptações do esqueleto bípede. A coluna apresentando curvaturas, os ossos alongados da perna e os ossos estreitos e achatados dos ombros e da pelve são algumas dessas adaptações.

O sistema esquelético humano é composto por 206 ossos. Os cientistas distinguem dois conjuntos principais de ossos: o **esqueleto axial** e o **esqueleto apendicular**. Para facilitar a visualização desses dois conjuntos, eles foram representados com cores diferentes, na figura ao lado.

Além das funções de sustentação e locomoção, o esqueleto também protege os órgãos internos. A caixa craniana protege o encéfalo, a coluna vertebral protege a medula espinhal e a caixa torácica protege os pulmões e o coração.



## Os ossos

Analisando a figura da página anterior, que representa o esqueleto humano, compare uma falange com o fêmur. Você observará a existência de diferenças de tamanho e também de forma. De acordo com tal critério, existem quatro tipos básicos de **ossos**: longos, curtos, planos e irregulares. Veja as características de cada tipo nos exemplos a seguir (as imagens são de ossos de pessoas adultas).

Ao estudar os tipos de ossos, os alunos poderão revisar a resposta à questão da seção *Pense e responda* da página 11 (item a).

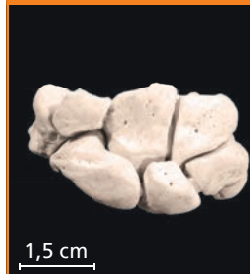


**Fêmur, um osso longo**

### Ossos longos

Seu comprimento é maior do que a largura. Os ossos do braço, da perna e as falanges são exemplos de ossos longos.

Southern Illinois University



**Os ossos curtos do carpo**

### Ossos curtos

São quase iguais em comprimento e largura, com formato aproximado de um cubo. Os ossos do carpo e do tarso são exemplos de ossos curtos.

VideoSurgery VideoSurgery



**Escápula, um osso plano**

### Ossos planos

São finos, achatados e podem ter diversas formas. As costelas, as escápulas e os ossos do crânio são exemplos de ossos planos.

VideoSurgery VideoSurgery



**Vértebra, um osso irregular**

### Ossos irregulares

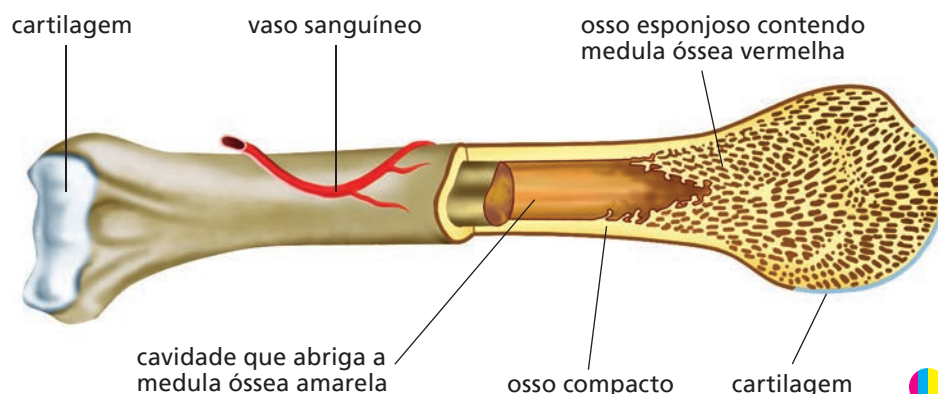
Não se encaixam em nenhuma das categorias anteriores, como é o caso das vértebras, que formam a coluna vertebral.

Anatomical Travelogue

Apesar dessas diferenças em tamanho e forma, os ossos possuem basicamente a mesma estrutura. Veja na figura a seguir o esquema de um osso longo do esqueleto humano, em corte transversal:

A imagem acima é de uma vértebra lombar.

**Úmero, um osso longo**



< Esquema ilustrando o **úmero** (osso do braço), com parte removida.

A aparência dura e resistente dos ossos pode não transmitir a ideia de que são estruturas vivas, que possuem células e recebem nutrientes, gás oxigênio e hormônios pelo sangue. O sangue é transportado por vasos sanguíneos que penetram os ossos por meio de canais.




**PENSE E  
RESPONDA**

O concreto armado é formado por vigas de ferro e uma massa de cimento, areia e pedras. Sem as vigas, o concreto se torna quebradiço e, sem o cimento e outros materiais, o concreto não suportaria grandes pesos. Comparando a estrutura do concreto armado com a matriz óssea, a que correspondem as vigas de ferro e o composto de cimento, a areia e as pedras?

Vigas: fibras de colágeno; cimento, areia e pedras: sais de cálcio.

Os ossos são envolvidos por tecido conjuntivo fibroso, e nas extremidades da maioria dos ossos existe cartilagem. A camada cartilaginosa auxilia na redução do atrito provocado no contato entre ossos, nas articulações móveis, evitando desgaste e deformação.

Os ossos são formados por dois tipos de tecido ósseo: o compacto e o esponjoso. O tecido ósseo compacto, muito rígido, circunda o esponjoso. O tecido ósseo esponjoso, por sua vez, é formado por uma delicada rede de finas colunas de osso. Mesmo sendo a maior parte de sua estrutura formada por tecido ósseo esponjoso, os ossos oferecem grande resistência à pressão.



Steve Gschmeissner/SPL/Latinstock

^ **Parte esponjosa do osso**, em imagem obtida ao microscópio eletrônico de varredura. Observe sua estrutura.

O tecido ósseo, que constitui o osso propriamente dito, é formado por células e pelo material orgânico que elas secretam, a matriz óssea. Essa matriz é constituída por fibras de colágeno e sofre deposição de sais de cálcio e fósforo. As fibras colágenas do osso têm grande força elástica, enquanto os sais de cálcio apresentam grande força de compressão. Podemos comparar um osso a uma parede de concreto armado: as vigas de ferro proporcionam força elástica, impedindo que a parede se quebre facilmente, enquanto o cimento, a areia e a pedra proporcionam a força de compressão, permitindo que a parede suporte pesos elevados sem deformar.

No interior dos ossos, existe uma cavidade na matriz rígida onde se forma a **medula óssea amarela**, que armazena lipídios trazidos pelo sangue. Nos ossos longos, existe também a **medula óssea vermelha**, formada por tecido especializado na produção de células sanguíneas.

O tecido ósseo forma-se durante a vida embrionária, porém mesmo nos adultos, que possuem ossos com tamanho e forma definidos, o tecido ósseo se renova continuamente. Esse processo em que o tecido ósseo é constantemente renovado chama-se **remodelamento ósseo**.

A formação de tecido ósseo é feita por células ósseas chamadas **osteoblastos**. Elas produzem a matriz extracelular, que possui a proteína colágeno. Essa proteína confere flexibilidade ao osso. Os osteoblastos também iniciam o processo de calcificação do osso, que é a deposição de sais minerais na matriz extracelular. Os sais minerais, principalmente o cálcio, conferem rigidez ao osso. Se a matriz óssea fosse formada apenas por minerais, ela seria rígida, mas quebradiça; se fosse formada apenas por fibras de colágeno, ela seria resistente às tensões e flexível, mas não seria rígida.


**REÚNA-SE COM  
OS COLEGAS**

Reúna-se com um colega e juntos busquem informações, em livros e sites de divulgação científica, para descobrir como os cientistas calculam a idade dos ossos nos fósseis. Em seguida, escrevam um texto na forma de reportagem, reunindo essas informações paleontológicas e a explicação da diferença entre ossos enterrados e os ossos que fazem parte do corpo de animais vivos.

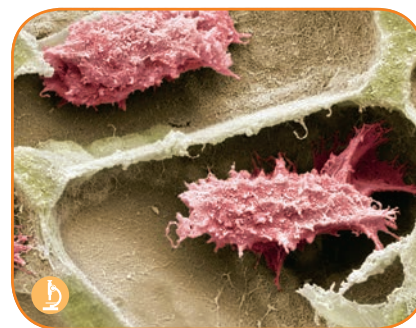
Veja informações no Manual.

As células que mantêm a atividade do tecido ósseo são chamadas **osteócitos**. Além dessas células, existem também aquelas que digerem os componentes da matriz extracelular (colágeno e minerais), reabsorvendo o osso. As células que reabsorvem o osso são os **osteoclastos**.

Esses processos antagônicos – deposição e absorção – são importantes na manutenção da rigidez dos ossos, pois a matriz perde sua resistência com o tempo. Além disso, permitem o remodelamento dos ossos ao longo da vida; por exemplo, se expostos com frequência a cargas pesadas, eles ficam mais espessos.

A situação descrita não é válida para ossos de crianças e adolescentes, que estão em crescimento. Nessas fases da vida, os ossos apresentam maior proporção de cartilagem e menor quantidade de sais depositado nos ossos, conferindo maior flexibilidade. Sua maturação completa ocorre por volta dos 20 anos e depende de fatores genéticos, de hormônios e também de fatores externos, como alimentação, exercícios, quantidade de sono, doenças, entre outros.

Por isso, é importante adotar uma alimentação saudável e praticar atividade física regular para garantir a boa formação e o crescimento dos ossos. Essas atitudes ajudam também a prevenir uma grave doença, a **osteoporose**, que é mais comum entre pessoas acima de 50 anos. A partir dessa idade, as pessoas passam a apresentar descalcificação de certos ossos em função de alterações hormonais, que podem se tornar frágeis e quebradiços. Além da perda de cálcio, na osteoporose a matriz óssea também se torna mais pobre em colágeno.



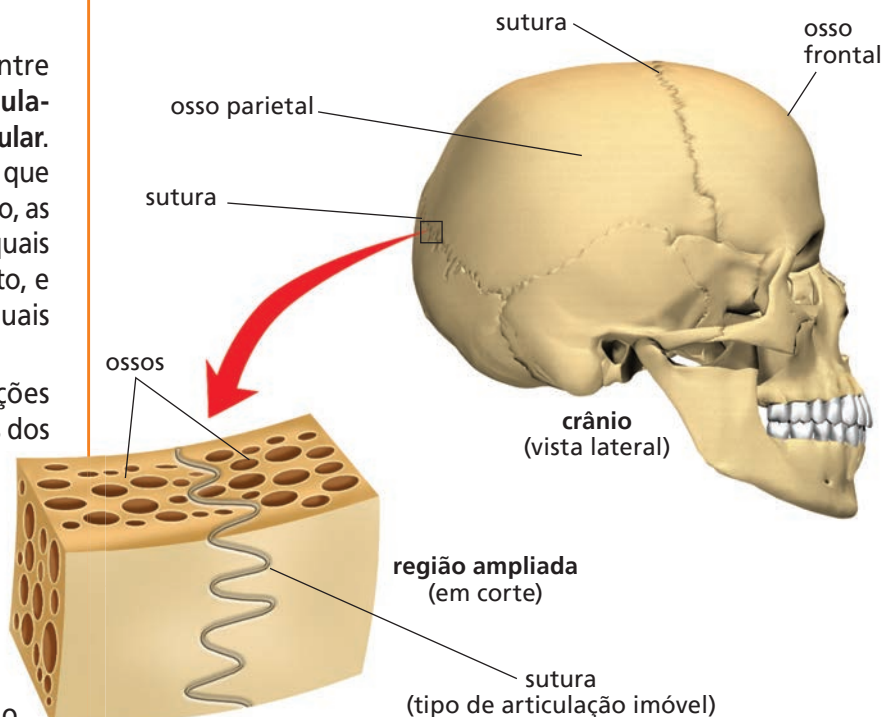
Os **osteoclastos** (coloridos em vermelho) se localizam em lacunas na superfície dos ossos e absorvem a matriz óssea, processo seguido pela deposição de nova matriz pelos osteoblastos. Cada célula mede cerca de 35 µm.

## 4 Sistema articular

As regiões de contato entre os ossos, denominadas **articulações**, compõem o **sistema articular**. Existem as **articulações móveis**, que permitem o movimento do corpo, as **articulações semimóveis**, nas quais há uma limitação de movimento, e as **articulações imóveis**, nas quais não há movimento na região.

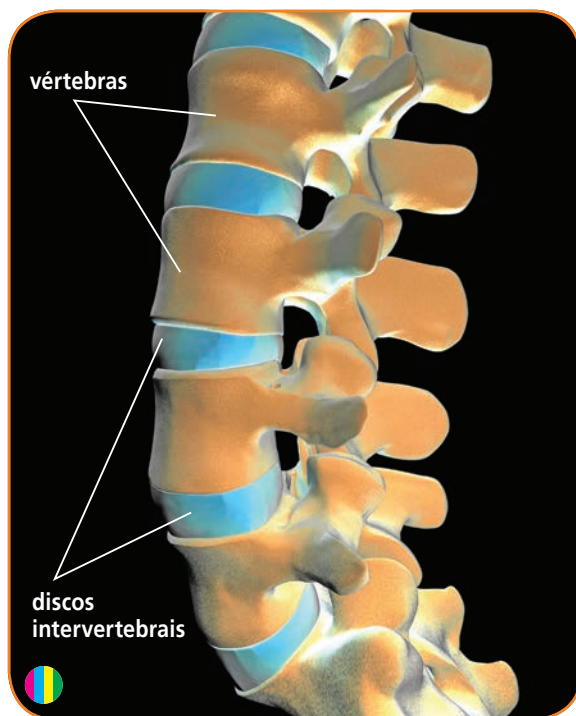
São exemplos de articulações imóveis aquelas entre as raízes dos dentes e seus pontos de encaixe na maxila e na mandíbula. Outros exemplos de articulações imóveis são as suturas, que se localizam no crânio, unindo um osso ao outro, semelhantes a um sistema de encaixe. A união é feita por tecido conjuntivo fibroso. Com tais características, os ossos do crânio funcionam como uma caixa protetora que abriga o encéfalo.

### Suturas entre ossos do crânio



Esquema mostrando um tipo de **articulação imóvel**: as suturas, que existem entre os ossos do crânio. Nesse tipo de articulação, os ossos são unidos por tecido conjuntivo denso, rico em fibras.





- Região da coluna vertebral. Os **discos intervertebrais** se localizam entre duas vértebras, unindo-as.

Considere agora o exemplo da coluna vertebral. É possível curvar o corpo para a frente e levemente para trás, ou para os lados, mas esses movimentos não são tão amplos e variados quanto aqueles executados pelos braços e pernas. Uma vértebra está unida a outras duas, uma em cima e outra embaixo, por uma camada de cartilagem em forma de disco e por isso denominada **disco intervertebral**, que permite leves movimentos entre uma vértebra e outra. Esse é um exemplo de articulação semimóvel.

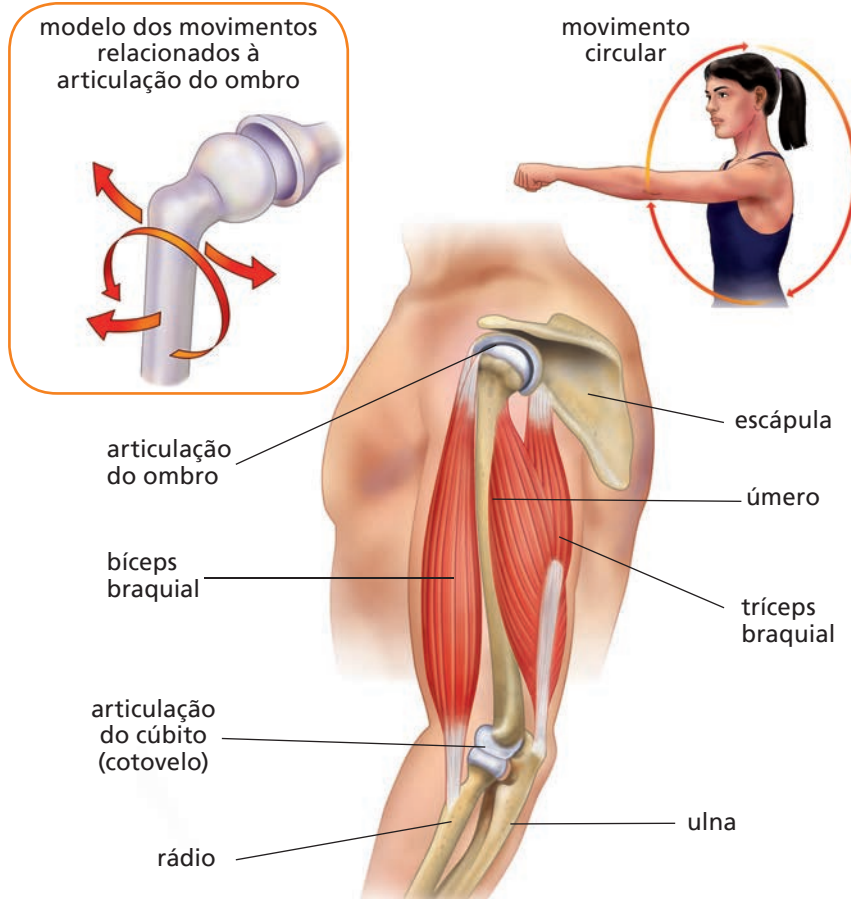
Além da leve movimentação entre vértebras, os discos, compostos por cartilagem, permitem à coluna vertebral suportar pressões. Quando carregamos uma mochila nos ombros, por exemplo, uma leve pressão é exercida na coluna, sendo amortecida pelos discos intervertebrais. No entanto, é preciso cuidado para não sobrecarregar esse mecanismo, não carregando objetos pesados e tomando cuidados com a postura.

No caso das articulações móveis, a movimentação dos ossos acontece graças à contração e relaxamento dos músculos associados a eles. Dependendo do tipo de articulação, determinados movimentos são possíveis. Veja o exemplo ilustrado a seguir.

Na seção *Leitura* deste capítulo, são apresentados outros cuidados fundamentais para manter a saúde da coluna vertebral.

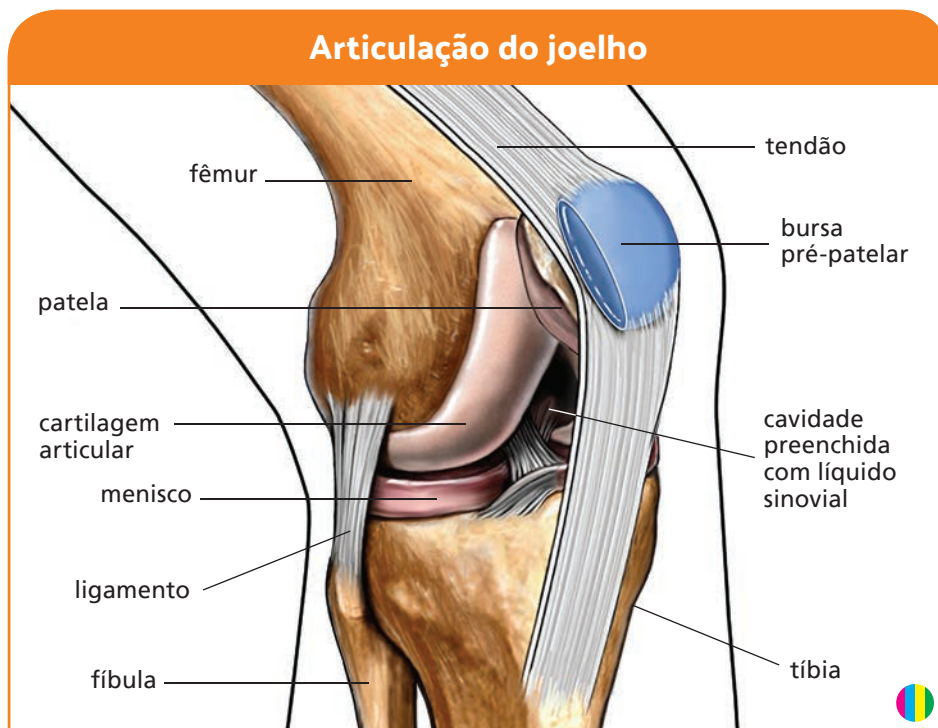
- Esquema mostrando a estrutura interna do braço: osso (úmero) e dois dos músculos associados (bíceps e tríceps braquiais). Observe a **articulação do ombro**, no ponto de contato entre o úmero e a escápula, e a **articulação do cúbito (cotovelo)**, entre o úmero e os ossos do antebraço (rádio e ulna). A articulação do ombro permite o movimento de girar o braço, como mostrado no detalhe.

### Estrutura interna do braço e seus movimentos



Vamos entender porque uma articulação móvel possibilita o movimento. Veja ao lado a ilustração da articulação móvel do joelho e observe as estruturas associadas ao movimento nessa região.

A articulação do joelho interliga o fêmur, a patela (rótula) e a tíbia, todos recobertos por cartilagem. Entre o fêmur e a tíbia, há também dois meniscos, discos cartilagosos em formato de meia-lua. Existe um espaço entre os ossos, a cavidade articular, preenchida pelo líquido sinovial. Todas essas características evitam o atrito entre os ossos e absorvem choques e tensões. Os ligamentos são feixes de fibras que mantêm os ossos unidos na região da articulação.



Esquema ilustrando a **articulação do joelho**. A fíbula (perônio), que também é representada na ilustração, articula-se com a tíbia, mas não faz parte da articulação do joelho.

## 5 Sistema muscular

Conforme comentamos no início deste capítulo, existem outros tipos de tecidos além do muscular estriado esquelético, mas este tipo será enfocado aqui por fazer parte do aparelho locomotor.

O **tecido muscular estriado esquelético** tem controle voluntário, embora em muitos músculos desse tipo esse controle seja parcial. Você consegue piscar os olhos de acordo com sua vontade, porém os músculos que fazem suas pálpebras se fecharem também funcionam sem que você perceba.

Os músculos esqueléticos também mantêm nossa postura, estabilizando as articulações e participando da sustentação do corpo. Enquanto estamos acordados, esses músculos estão continuamente contraídos, independente de nossa vontade, mesmo quando estamos relaxados, sentados em uma cadeira, ou parados em pé, mantendo o chamado tônus muscular.

A musculatura também está envolvida na regulação térmica do corpo. Os músculos esqueléticos liberam calor, mesmo quando não estamos nos exercitando. Quando sentimos frio, geralmente temos calafrios, contrações involuntárias da musculatura esquelética, que ajudam a aquecer o corpo.

Como nosso enfoque é a locomoção humana, vamos estudar de que maneira os músculos estriados esqueléticos promovem os movimentos voluntários de nosso corpo. A partir de agora, quando usarmos as palavras músculo ou musculatura, estaremos nos referindo aos músculos estriados esqueléticos envolvidos na locomoção.

Pode ser interessante comentar que os músculos da íris, que regulam o diâmetro da pupila, são estriados esqueléticos, porém de controle totalmente involuntário.

A diferença de temperatura entre a água e o ar, e a evaporação da água na superfície da pele podem causar sensação de frio, o que estimula as **contrações involuntárias da musculatura esquelética** (tremor), que aquecem o corpo.







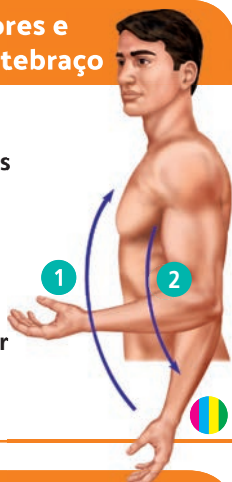
## CURIOSIDADE

A maioria dos músculos esqueléticos está ligada a ossos ou a cartilagens. No entanto, alguns músculos esqueléticos estão fixados a órgãos, como os músculos responsáveis pelos movimentos do olho. Outros ainda estão ligados à pele – caso dos músculos da face.

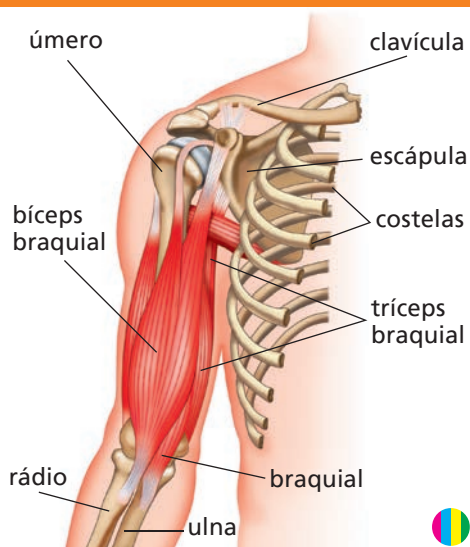
## Músculos flexores e extensores do antebraço

**1 Flexão**  
Músculos flexores do antebraço: braquial, bíceps braquial

**2 Extensão**  
Músculo extensor do antebraço: tríceps braquial



## Músculos que movimentam o antebraço



➤ Esquema mostrando os **movimentos de flexão e extensão do antebraço**, com o braço em vista lateral. O músculo braquial não está representado nesta figura. Existem diversos músculos que cruzam o cúbito (cotovelo), ligando o braço ao antebraço e à mão. Neste exemplo destacamos apenas os músculos que mais contribuem na produção da flexão e da extensão do antebraço, quando a palma da mão está voltada para cima.

Os músculos estão ligados aos ossos por **tendões**, constituídos de tecido cartilaginoso. Quando os músculos esqueléticos se movimentam, os tendões são tracionados e estes, por sua vez, tracionam os ossos. Geralmente, um dos ossos envolvidos no movimento é mantido próximo de sua posição original, enquanto o outro osso é móvel.

O principal músculo responsável por um movimento específico é chamado **agonista**; o músculo **antagonista**, por sua vez, opõe-se à ação do agonista. Assim, quando um agonista se contrai sofrendo encurtamento, seu antagonista se alonga, de forma progressiva e controlada, resultando em um movimento coordenado. Dependendo do movimento executado, a função de um mesmo músculo pode variar, ou seja, ele pode atuar como agonista, antagonista ou ter outra função, como a de estabilizar o movimento.

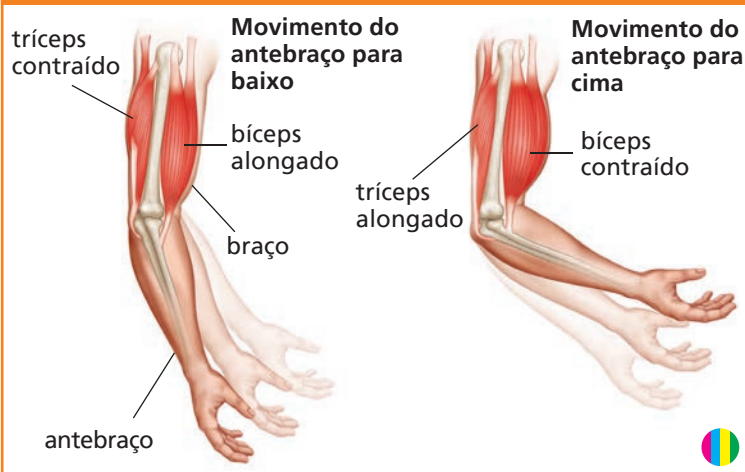
Vamos analisar, como exemplo, a relação entre músculos e ossos na produção do movimento de flexão do antebraço.

Existem três músculos principais do braço, sendo dois flexores (bíceps braquial e músculo braquial) e um extensor (tríceps braquial). Os músculos flexores estão localizados na região anterior do braço e o extensor, na região posterior. A ação coordenada desses músculos promove os movimentos do antebraço.

O músculo braquial está ligado por tendões ao osso do braço (úmero) e a um osso do antebraço (ulna). No caso da flexão do antebraço, o braquial se contrai produzindo encurtamento muscular; o osso do antebraço é então puxado em direção ao ombro, ocorrendo movimento na articulação do cotovelo. O mesmo ocorre com o bíceps braquial, que está ligado ao úmero e ao rádio. Esses dois músculos, o braquial e o bíceps braquial, são os principais flexores neste movimento, seja ele rápido ou lento, na presença ou ausência de uma resistência (como o peso de um objeto na mão).

O tríceps braquial é o principal extensor do antebraço, sendo antagonista dos músculos braquial e bíceps braquial durante o movimento de flexão: ele se alonga enquanto os músculos anteriores estão sofrendo encurtamento.

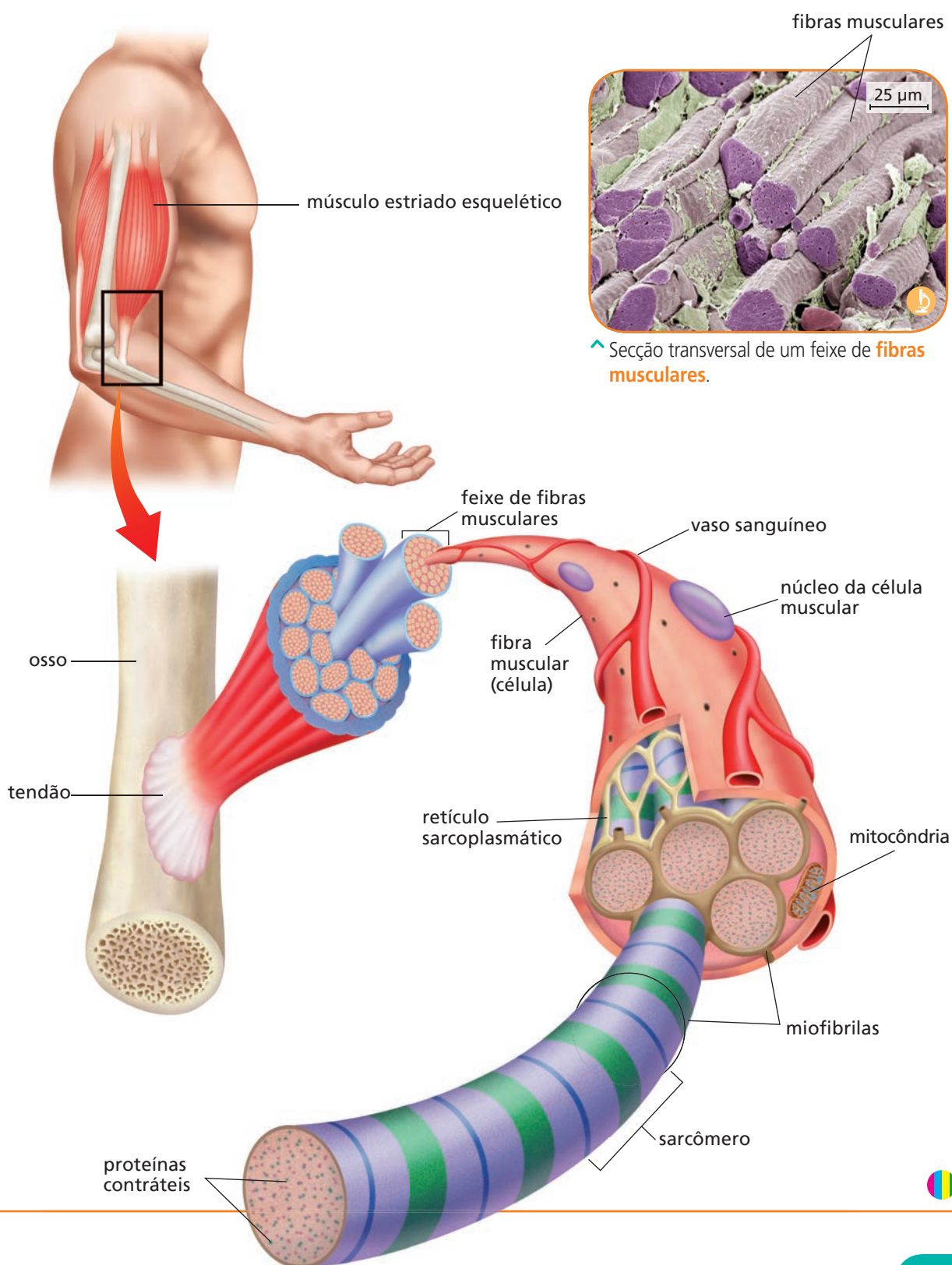
## Flexão e extensão do antebraço



## 5.1 Contração muscular

Veja na ilustração a estrutura de um músculo, do nível macroscópico para o microscópico.

### Estrutura microscópica do músculo



Osvaldo Sequetin/Arquivo da editora

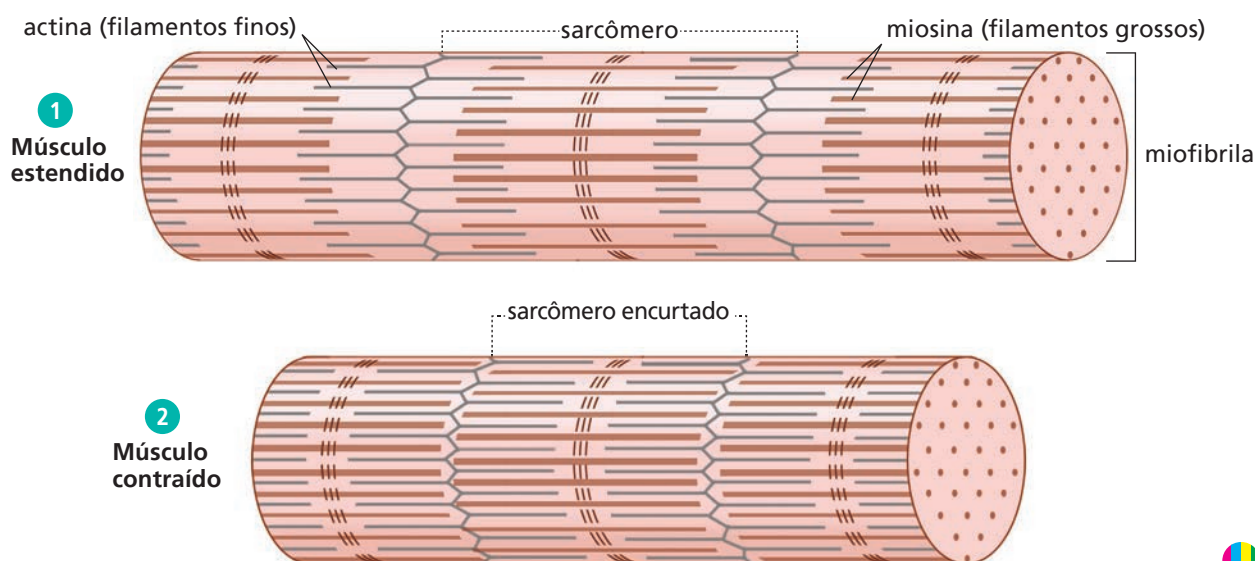
Steve Gschmeissner/SPL/Latinstock

Cada músculo esquelético é constituído por feixes de fibras musculares. A **fibra muscular**, ou **miócito**, corresponde à célula muscular, que é bastante alongada e possui numerosos núcleos e mitocôndrias. Cada fibra muscular possui em seu citoplasma as chamadas **miofibrilas**, onde estão arranjadas as proteínas filamentosas responsáveis pela contração muscular. Essas proteínas são a **actina** e a **miosina**.

O aspecto estriado que dá nome a esse tipo de musculatura é devido ao arranjo das proteínas nos **sarcômeros**, as unidades que se repetem formando a miofibrila. Cada sarcômero possui uma região mais escura entre duas regiões mais claras, resultando no aspecto estriado (em bandas) que é observado nas miofibrilas, quando visualizadas ao microscópio. A região mais clara corresponde à zona do sarcômero onde está a actina, formada por filamentos finos; a região mais escura corresponde aos filamentos grossos da miosina intercalados por filamentos de actina.

O comprimento de um sarcômero pode variar. Quando os sarcômeros se encurtam, toda a fibra muscular sofre encurtamento e o músculo se contrai. Esse estado é ativo, ou seja, demanda grande quantidade de energia. Quando os sarcômeros voltam ao comprimento inicial, a fibra muscular se estende. O encurtamento do sarcômero é resultado do deslizamento entre os filamentos de miosina e actina, como é possível observar no esquema a seguir. Esse processo necessita de energia e de íons cálcio, que ficam armazenados em uma organela da fibra muscular chamada **retículo sarcoplasmático**.

### Encurtamento de sarcômeros



Veja no Manual comentários a respeito da contração muscular.



#### CURIOSIDADE

No exercício físico intenso, células musculares podem realizar fermentação láctica. Saiba mais na página 24.

As células musculares obtêm energia para a contração na quebra da molécula de **ATP** (adenosina trifosfato ou trifosfato de adenosina), gerando ADP (adenosina difosfato ou difosfato de adenosina) ou AMP (adenosina monofosfato ou monofosfato de adenosina). As células podem produzir ATP realizando respiração aeróbia nas mitocôndrias: a glicose é transformada em gás carbônico e água a partir da reação com o gás oxigênio ( $O_2$ ). Há um “estoque” de glicose nas células musculares, sob a forma de **glicogênio**, e o  $O_2$  é transportado até os músculos pelo sangue. Essas células também possuem **fosfocreatina**, um composto que armazena energia, utilizada na contração.

O processo de contração muscular está descrito aqui de modo simplificado, apenas para fornecer uma noção dos complexos mecanismos envolvidos.



## Regulação nervosa da contração muscular

Voltemos ao exemplo da flexão do antebraço, relacionada ao encurtamento dos músculos flexores do braço. Os sarcômeros não se contraem de modo automático; eles são estimulados por um sinal eletroquímico proveniente do sistema nervoso. O estímulo provém da parte central do sistema nervoso e chega às fibras musculares pelos nervos motores, em regiões chamadas **junções neuromusculares**. Os nervos motores liberam, por suas extremidades, substâncias que promovem alterações no interior da fibra muscular, como a liberação de íons cálcio no citoplasma, e inicia-se o deslizamento entre os filamentos dos sarcômeros. Quando o nervo motor deixa de transmitir esse sinal químico para o músculo, o processo inverso acontece: os íons cálcio são recolhidos, os sarcômeros voltam ao comprimento inicial e o músculo sofre extensão.

Existem músculos estriados com sarcômeros organizados em bandas, semelhantes aos da musculatura esquelética, que não possuem controle voluntário, como é o caso dos músculos que controlam a abertura da pupila no olho e do músculo diafragma, envolvido nos movimentos respiratórios.

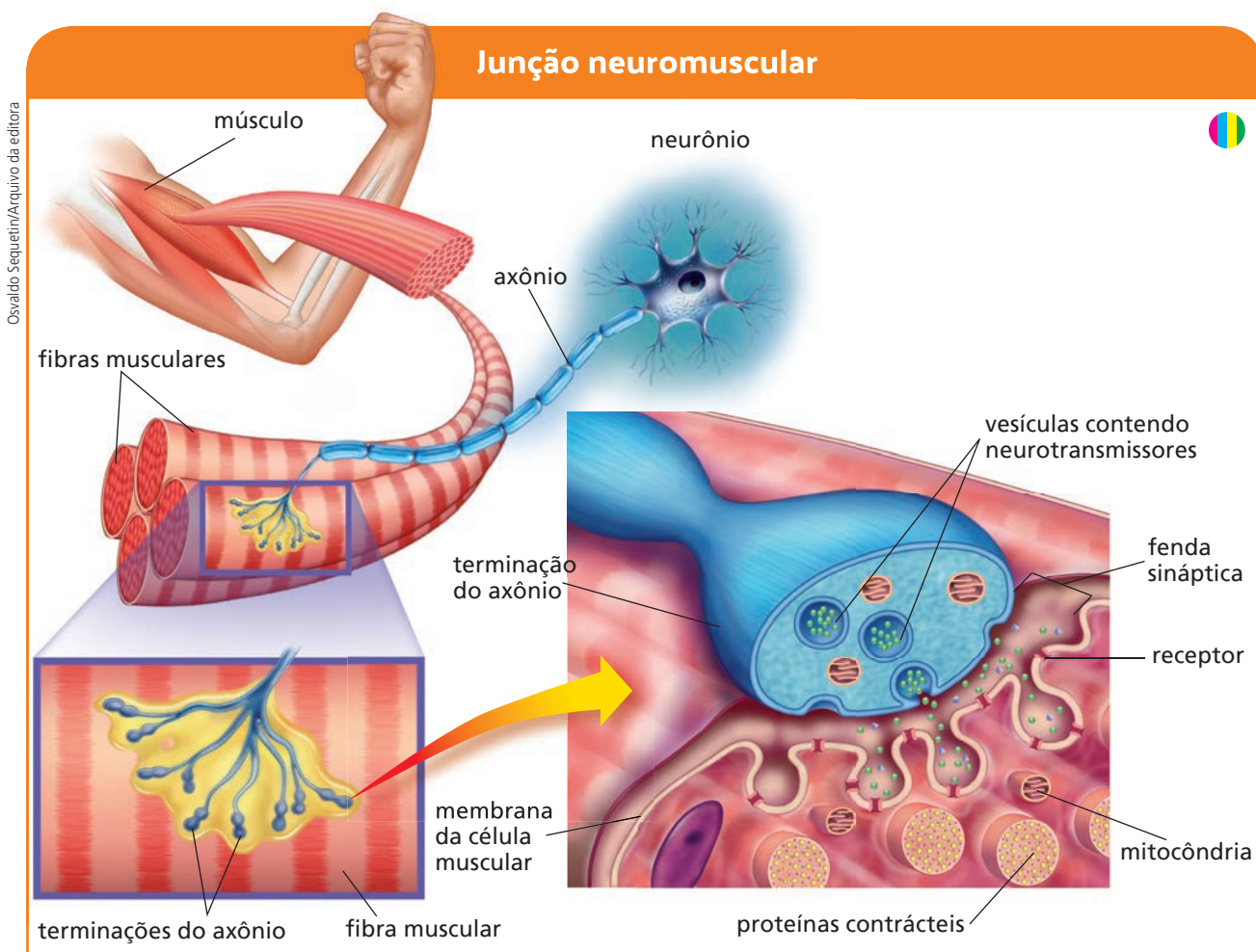
O mecanismo de transmissão do impulso nervoso e a estrutura da principal célula nervosa, o neurônio, constam do volume 1 desta coleção, no capítulo que trata de histologia animal. Na figura a seguir, você pode observar um esquema simplificado que relaciona um neurônio a uma fibra muscular.



### RECORDE-SE

#### Sinapse

A transmissão de impulsos nervosos ocorre nas sinapses. Os neurônios não têm contato direto entre si; neurotransmissores são liberados na fenda sináptica (espaço de poucos nanômetros entre um neurônio e outro) e captados pelos neurônios receptores.



^ **A contração muscular é estimulada por impulsos eletroquímicos**, emitidos por neurônios localizados na parte central do sistema nervoso. Um longo axônio transmite os impulsos a uma célula (fibra) muscular; esse axônio faz parte de um nervo motor. À direita, detalhe da sinapse entre a terminação do axônio e a superfície da célula muscular; estruturas representadas em corte.





# VAMOS CRITICAR O QUE ESTUDAMOS?

## De onde vem a energia para a contração muscular?

Como praticamente todas as células do corpo, as células musculares possuem mitocôndrias e realizam respiração celular, consumindo gás oxigênio ( $O_2$ ) e glicose, com liberação de energia e de gás carbônico. Essa energia, armazenada temporariamente na forma de ATP e de fosfocreatina, ativa a contração das miofibrilas. O gás oxigênio e a glicose são transportados até os músculos pelo sangue.

Antes do exercício físico, é recomendável fazer um lanche leve, como uma fruta, que fornece açúcares. É importante estar bem hidratado, pois a contração muscular libera calor e, com isso, aumenta a transpiração. No entanto, não se deve fazer exercícios com o estômago cheio, pesado, pois nesse caso o suprimento de sangue não será adequado nem para a musculatura esquelética, nem para o sistema digestório.

Mesmo estando hidratado e com níveis adequados de glicose, quando a atividade muscular é muito intensa o suprimento de  $O_2$  pode se tornar insuficiente para todas as células musculares. O ritmo respiratório aumenta, tentando fornecer quantidade suficiente de  $O_2$  para os músculos. A partir de determinado momento, durante a atividade física intensa, alguns grupos de células musculares passam a realizar **fermentação láctica**,

um processo de obtenção de energia que quebra a glicose sem utilizar  $O_2$ . Um resíduo desse processo, que ocorre no citoplasma das células musculares, é o **ácido láctico**, liberado no espaço intercelular e no sangue.

O acúmulo de ácido láctico é um dos fatores relacionados a fadiga muscular, que é a incapacidade de contração vigorosa de um músculo, após uma atividade física intensa e prolongada. Esse quadro causa dor na musculatura, entre outros sintomas. Outro sintoma associado ao acúmulo de ácido láctico nos músculos é a cãibra, caracterizada por contrações involuntárias e dolorosas.

Para evitar os prejuízos do acúmulo de ácido láctico e para melhor proveito da atividade física, é fundamental buscar orientação de um profissional de Educação Física e de Fisioterapia. É importante aquecer o corpo lentamente e em seguida alongar os músculos, antes de iniciar a atividade física, seja ela qual for: natação, corrida, jogos com bola, ginástica, ciclismo ou até uma simples caminhada. O alongamento também é essencial após o exercício. Cada pessoa deve respeitar seus limites musculares e cardiovasculares e, considerando esses fatores, o profissional de educação física pode elaborar um treino, estabelecendo uma meta saudável a ser atingida.

DIVULGAÇÃO PNLD

➤ Fazer **alongamento antes e depois da atividade física** é fundamental para evitar lesões no sistema esquelético. Os exercícios devem ser orientados por um profissional de Educação Física.



Wavebreakmedia/Shutterstock



O tema desta leitura permite uma abordagem interdisciplinar com as áreas de História e de Física. Veja comentários no Manual.

## 1 A descoberta dos raios X

A imagem abaixo é a primeira **radiografia** de uma parte do corpo humano, obtida em dezembro de 1895 pelo físico alemão Wilhelm Conrad Röntgen. Esse cientista foi o descobridor de um tipo até então desconhecido de radiação, que recebeu o nome de **raios X**.

Röntgen observou que os raios X são absorvidos de forma proporcional à densidade de um objeto. Pediu à sua esposa que fosse até o laboratório, onde um equipamento especial estava montado, e pediu a ela que posicionasse sua mão esquerda sobre uma caixa de madeira, que por sua vez estava sobre uma chapa fotográfica. A radiação invisível que incidiu sobre a mão da mulher foi absorvida pelos ossos e pelo metal da aliança que ela usava, e não sensibilizou a chapa fotográfica. A radiação que atingiu as partes moles próximas aos ossos foi mais fracamente absorvida, resultando na imagem difusa dos contornos da mão.

Como os ossos são a parte mais densa do corpo humano, as aplicações de raios X para a Medicina logo ficaram evidentes, permitindo o diagnóstico de fraturas, malformações ósseas e até o crescimento anormal de tumores, que formam massas densas de células.

Através da radiografia convencional, no entanto, não é possível diferenciar pequenas diferenças de densidade, tampouco identificar massas celulares localizadas sobre um osso, ou atrás dele, considerando a posição do feixe incidente de raios X. Nos anos 1930, surgiu a tomografia, uma técnica que permite obter sucessivas radiografias de finas amostras do material examinado. Atualmente, pela tomografia computadorizada, é possível obter imagens tridimensionais de um

objeto ou parte do corpo. Feixes de raios X atingem o material por diferentes ângulos e a união das sucessivas radiografias obtidas resulta em uma imagem tridimensional, que pode ser colorizada por programas de computador.

Veja a seguir alguns trechos de um artigo escrito por pesquisadores de História da Ciência a respeito da repercussão da descoberta dos raios X na imprensa e no mundo.



U.S. National Library of Medicine

^ **Radiografia** da mão esquerda da esposa de Wilhelm Röntgen. A mancha branca corresponde à aliança usada por ela.

“O ruído de alarmes de guerra não deve desviar nossa atenção do maravilhoso triunfo da ciência que foi noticiado em Viena. Foi anunciado que o Professor Röntgen, da Universidade de Wurzburg, descobriu uma luz que, para as finalidades de fotografia, pode penetrar através de madeira, carne e a maioria das substâncias orgânicas. O professor fotografou com sucesso objetos maciços de metal que se encontravam dentro de uma caixa de madeira; também a mão de um homem, que mostrava apenas os ossos, a carne sendo invisível.”

Este texto reproduz parte de uma notícia publicada pelo jornal *Daily Chronicle* de Londres, em 6/1/1896. [...] A notícia chegou a Nova Iorque em 8/1/1896. Essas primeiras publicações sempre eram

acompanhadas de radiografias de ossos e outros objetos ocultos. Por isso, o impacto dessas manchetes de primeira página foi enorme.

Cerca de 40 dias depois da primeira notícia em jornal, foram publicadas em fevereiro de 1896, em dois jornais de grande circulação no Rio de Janeiro (então capital federal), duas matérias sobre os raios X. Nessas publicações foram relatadas informações ainda muito imprecisas no que diz respeito ao fenômeno em si e algumas aplicações que comprovavam sua existência e demonstravam que muito se esperava dele. Pairava no ar um sentimento de euforia sobre uma luz misteriosa, mas que representava esperança renovada em termos médicos.

Sua divulgação também logo alcançou grande impacto na comunidade científica. Durante o ano de 1896, mais de 1 000 artigos e 49 livros sobre os raios X foram publicados. [...]

Além do enorme impacto na comunidade científica, é interessante avaliar o interesse despertado na comunidade leiga. [...]

Um dos exemplos mais duradouros de como os raios X estiveram presentes no cotidiano refere-se ao fluoroscópio empregado nas grandes sapatarias, especialmente a partir de 1920: o cliente podia experimentar seus sapatos vendo a imagem dos pés e o contorno do calçado na tela fluorescente. Alguns modelos tinham mais de um visor e chapas para a impressão da imagem vista na tela. O aparelho ficava geralmente no centro da loja, e sua carcaça era feita de aço e madeira. [...] Até o início da década de 50 essa prática era muito comum, e somente nos Estados Unidos havia mais de 10 000 aparelhos em uso, 3 000 na Inglaterra e 1 000 no Canadá, a maioria dos quais desregulado e com vazamento de radiação para o ambiente da loja, indicativo de vedação ineficiente ou mal projetada.

LIMA, R. S.; AFONSO, J. C.; PIMENTEL, L. C. F. Raios X: fascinação, medo e ciência. *Química Nova*, v. 32, n. 1. São Paulo, 2009. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-40422009000100044](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422009000100044)>. Acesso em: 08 fev. 2016.



^ **Fluoroscópio** usado em sapatarias nos Estados Unidos, na década de 1950.

Gary Retherford/Getty Images

## DEPOIS DA LEITURA...

- Em sua opinião, qual é a importância em se pesquisar a História da Ciência? *a) Resposta pessoal. Veja comentários no Manual.*
- Para se obter uma radiografia, são necessários diversos cuidados e, por isso, essa técnica é aplicada por profissionais especializados, apenas em clínicas, laboratórios e hospitais. Faça uma pesquisa para descobrir quais são os riscos do uso inadequado de raios X para a saúde humana. *b) Consulte o Manual.*

## 2 Coluna vertebral: cuidados com a postura

A coluna vertebral de um adulto possui normalmente 33 vértebras, que são organizadas em quatro regiões, de acordo com suas características e localização: cervical (7 vértebras), torácica (12), lombar (5), sacral (formada pelo sacro, que corresponde à fusão de 5 vértebras) e cóccix (constituído pela fusão de 4 pequenas vértebras).

Em vista lateral, a coluna vertebral do adulto apresenta quatro curvaturas normais: **cervical**,

**torácica**, **lombar** e **sacral**. Essas curvaturas aumentam a resistência da coluna, ajudam a manter o equilíbrio quando estamos em posição ereta e reduzem o risco de fraturas nas vértebras.

Existem condições em que as curvaturas normais da coluna vertebral estão alteradas, caso da cifose, da lordose e da escoliose, como você pode conferir nos esquemas da página seguinte.

Vamos fazer uma observação a respeito dos

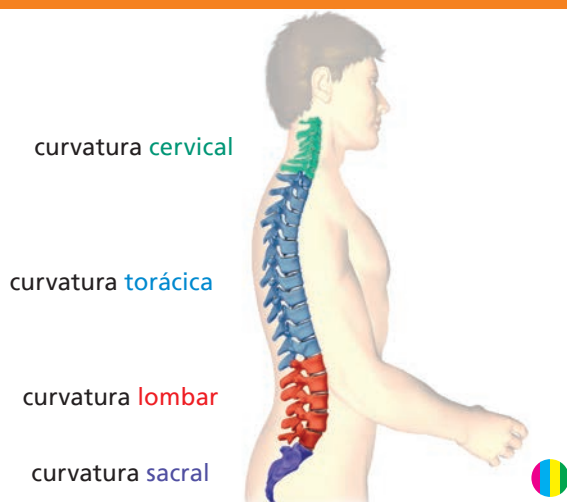


termos cifose e lordose, comumente utilizados para se referir aos desvios de coluna mostrados na ilustração abaixo, à esquerda. A palavra cifose, apesar de muito usada como sinônimo de corcunda ou corcova, refere-se, na verdade, à curvatura normal da região torácica da coluna. O termo médico que designa a curvatura acentuada é cifose torácica excessiva. O mesmo ocorre com a palavra lordose, que corresponde à curvatura normal da região lombar, mas é frequentemente adotada como sinônimo da condição anormal, a hiperlordose lombar.

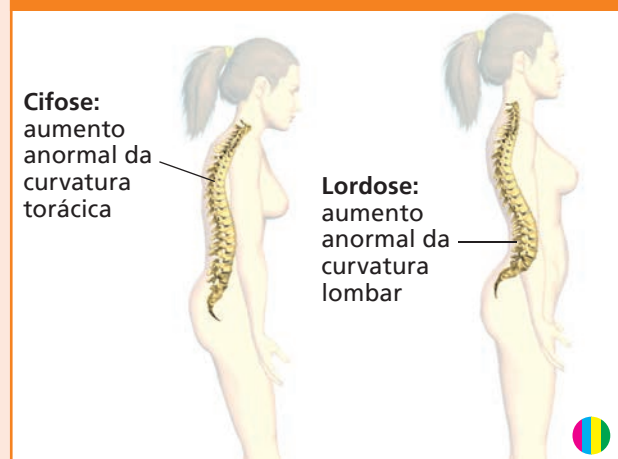
Os desvios de coluna podem resultar em dores e limitação de movimentos. Um médico sempre deve ser consultado no caso de dores na coluna.

➤ Esquema mostrando as **curvaturas normais da coluna vertebral** de um adulto, visto de perfil.

### Curvaturas normais da coluna vertebral



### Coluna vertebral em vista lateral na cifose e lordose



Se você não possui problemas nas curvaturas da coluna ou não deseja acentuar um desvio já existente, alguns cuidados com a postura são essenciais, tais como:

- Utilizar preferencialmente bolsas com duas alças largas – mochilas – do que bolsas com uma única alça lateral.

### Comparação entre a coluna vertebral em condição normal e com escoliose

**Condição normal:** coluna vertebral em vista dorsal

**Escoliose**



- Não carregar excesso de peso na mochila, o que poderia forçar a coluna para a frente.
- Evitar ficar mais de uma hora na mesma posição (sentado ou em pé).
- Quando for levantar peso, não dobrar o tronco para a frente. Deve-se abaixar e levantar dobrando as pernas e mantendo a coluna ereta.

### DEPOIS DA LEITURA...

- Baseando-se nesse texto e no que vimos neste capítulo, escreva quais são as funções da coluna vertebral.
- Em seu cotidiano, você toma cuidados para evitar problemas com a coluna? Que cuidados são esses? O que poderia ser melhorado?
  - Eixo de sustentação, proteção da medula espinhal e, na espécie humana, adaptação à locomoção bípede.
  - Resposta pessoal. Veja algumas sugestões no Manual.



7. a) Ambas são articulações móveis, porém a do braço permite movimento em várias direções, enquanto a do joelho produz um movimento de abertura e fechamento (semelhante à da dobradiça de uma porta). Não é possível, por exemplo, dobrar a perna para frente, para além da linha do joelho.

## Revendendo e aplicando conceitos

1. a) Pelas articulações móveis dos braços e pernas, e semimóveis da coluna vertebral. Veja comentários no Manual.

1. Veja a imagem a seguir e responda:

a. Explique como os movimentos executados pela *skatista* (esqueitista) são possíveis, sendo os ossos estruturas rígidas.

b. Considerando as funções do esqueleto humano, responda por que é importante usar capacete quando for andar de motocicleta, bicicleta, patins ou skate (esquite), bem como o uso de cinto de segurança nos automóveis.



Dan Holm/Shutterstock

2. Copie a lista a seguir em seu caderno e complete-a, relacionando cada uma das funções a uma estrutura do esqueleto humano ou do tecido ósseo.

- Sustentação 2. Consulte o Manual.
- Proteção
- Locomoção
- Armazenamento de cálcio
- Produção dos elementos figurados do sangue
- Armazenamento de lipídios

3. O termo articulação é geralmente utilizado nas diversas atividades humanas, como em construções, por exemplo, para indicar a movimentação de uma estrutura em relação a outra, no ponto em que elas se encontram. É o caso das dobradiças, por exemplo. Em anatomia, no entanto, articulação tem outro significado. Que significado é esse? 3. É a superfície de contato entre dois ossos, podendo ou não permitir movimentos.

4. Atletas das mais diversas modalidades fazem refeições ricas em carboidratos e sais minerais, além de treinos que fortalecem o coração e melhoram as condições de ventilação pulmonar. 4. Consulte o Manual.

Relacione essas condições ao mecanismo de contração da musculatura estriada esquelética.

5. Considerando a atuação da musculatura estriada esquelética, explique o que é um músculo agonista e um antagonista. 5. Os agonistas são grupos musculares que, quando ativados, se contraem e proporcionam o movimento desejado. Os antagonistas relaxam durante o movimento.

6. Faça uma pesquisa a respeito da fisioterapia: o que

é e por que é tão importante seguir as orientações de um fisioterapeuta em casos como os de desvios da coluna vertebral. Escreva um texto a respeito desse tema. 6. Consulte subsídios no Manual.

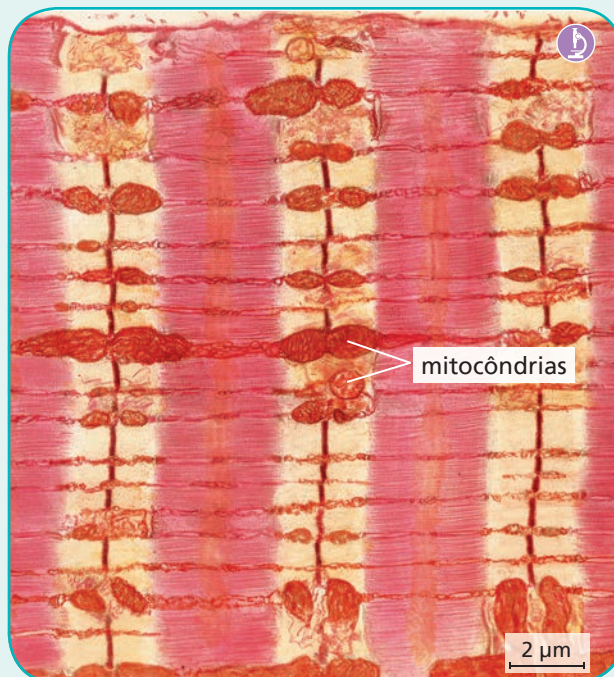
7. Compare a articulação do joelho com a do ombro, baseando-se nas ilustrações apresentadas neste capítulo, e responda:

a. Explique uma semelhança e uma diferença entre elas.

b. Proponha um esquema que demonstre os movimentos executados pela articulação entre as falanges da mão. 7. b) Consulte o Manual.

8. Explique qual foi a importância da descoberta de Wilhelm Röntgen para a Medicina.

9. A imagem abaixo corresponde a um corte histológico de musculatura estriada esquelética, observado ao microscópio eletrônico de transmissão.



Steve Gschmeissner/SPL/Latinstock

9. a) Sarcômeros, que sofrem encurtamento promovendo a contração muscular.

Responda: 9. b) Sim, pois o tecido muscular consome muita energia, que é produzida na respiração celular, dentro das mitocôndrias.

a. Observando a imagem da esquerda para a direita (ou vice-versa), é possível distinguir um padrão de bandas paralelas, que se repetem. Cada banda é formada por unidades menores. A que correspondem essas unidades, menores? Explique sua relação com o funcionamento do músculo.

b. Observe a presença de muitas mitocôndrias (vistas em corte) no tecido muscular. Existe alguma relação entre a abundância de mitocôndrias e o funcionamento desse tecido? Explique.

8. A descoberta dos raios X e de sua capacidade de atravessar tecidos moles do corpo, mas não os ossos, permitiu desenvolver um equipamento até hoje usado no diagnóstico de problemas como fraturas e desvios de coluna, entre outros.

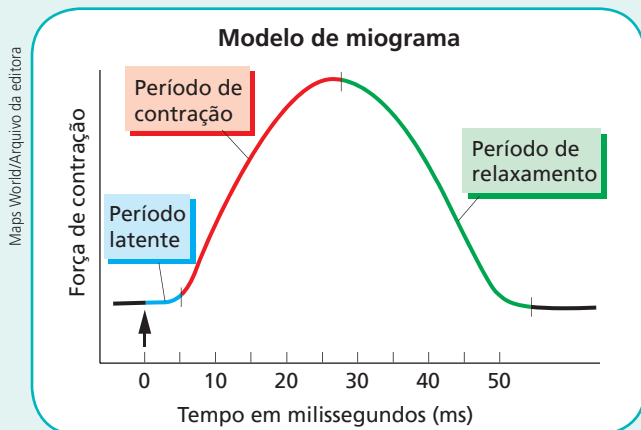
1. b) O capacete reduz o risco de fraturas no crânio, que abriga o encéfalo, em caso de queda. O cinto de segurança impede que o corpo se choque e sofra lesões no crânio e na coluna, o que pode afetar o sistema nervoso.

11. a) Traumatismo é uma perturbação da parte interna do corpo causada por um fenómeno externo. No caso, os traumatismos da tabela são fraturas e outras lesões comuns em acidentes de trânsito.

## Trabalhando com gráficos

10. b) Os sarcômeros possuem filamentos de miosina e actina, que deslizam entre si promovendo o encurtamento da estrutura.

10. O miograma é um gráfico obtido a partir do registro de uma contração muscular. O miograma a seguir representa uma contração rápida, que é uma contração breve de todas as fibras musculares de uma unidade motora, em resposta a um único estímulo nervoso (seta).



Fonte: TORTORA, G. J. *Corpo humano: fundamentos de anatomia e fisiologia*. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006, p. 185.

Observe que existe um período de latência entre a aplicação do estímulo e o início da contração, no qual ocorrem reações que dão início ao processo, como a liberação de íons cálcio no interior das fibras musculares. Sabendo disso e analisando o gráfico, responda:

- Durante qual intervalo de tempo indicado no gráfico os sarcômeros encurtam?
- Descreva brevemente como ocorre o encurtamento dos sarcômeros.
- Que condições devem existir no músculo para que a contração ocorra?
- Utilize os termos a seguir para descrever como o estímulo nervoso chega até a unidade motora.

10. a) Intervalo de 5 a 30 segundos (em vermelho).

10. c) Energia (ATP) e liberação de cálcio por uma organela da célula muscular, o retículo sarcoplasmático.

10. d) Consulte o Manual.

Sinapse

Neurotransmissores

Parte central do sistema nervoso

Nervo motor

Fibra muscular

## Ciência, Tecnologia e Sociedade

11. A tabela a seguir foi retirada do site da Associação Brasileira de Prevenção dos Acidentes de Trânsito.

11. b) Melhorias nas condições das estradas, investimento em sinalização, eliminação dos pontos críticos causadores de acidentes, medidas de educação, entre outras.

### Lesões causadas por acidentes ocorridos em rodovias federais do Brasil (2009)

Traumatismos da cabeça e pescoço	33,7%
Traumatismos do tronco	12,6%
Traumatismos dos membros inferiores	17,9%
Traumatismos dos membros superiores	13,5%
Traumatismos envolvendo múltiplas regiões do corpo	21,9%
Demais traumatismos	00,4%
<b>Total</b>	<b>100%</b>

Disponível em: <[http://www.vias-seguras.com/os\\_acidentes/as\\_vitimas\\_de\\_acidentes\\_de\\_transito/as\\_lesoes\\_causadas\\_pelos\\_acidentes\\_de\\_transito/pesquisa\\_medico\\_hospitalar\\_dnit\\_2009\\_extratos](http://www.vias-seguras.com/os_acidentes/as_vitimas_de_acidentes_de_transito/as_lesoes_causadas_pelos_acidentes_de_transito/pesquisa_medico_hospitalar_dnit_2009_extratos)>. Acesso em: 08 fev. 2016.

- Procure em um dicionário o significado de traumatismo e escreva em seu caderno uma definição que explique o termo, conforme ele foi utilizado na tabela acima.
  - Cite pelo menos duas medidas de proteção que podem reduzir o número e a gravidade de lesões causadas em acidentes em estradas e ruas.
  - Pesquise a respeito do Plano Nacional de Redução de Acidentes no trânsito para a década de 2011-2020 e procure saber que ações estão sendo realizadas em seu município.
11. c) Consulte o Manual.
12. Na população humana, há diversidade de características, e isso também é válido para o aparelho locomotor. Algumas pessoas possuem a coluna vertebral normalmente alinhada, outras possuem desvios de coluna e existem pessoas com limitações de locomoção, que podem ter diversos graus e diversas causas. Cada caso tem um tratamento médico específico, mas todas as pessoas, independente de sua condição física, têm os mesmos direitos de acesso e deslocamento em ruas, praças, restaurantes, teatros, lojas e escolas, entre tantos outros espaços.



Rogério Reis/Pulsar Imagens

^ A rampa auxilia o deslocamento da cadeirante.



Mauro Uijetto/Arquivo do fotógrafo

Alan Fonteles, velocista brasileiro.

Reúna-se com seus colegas e façam as atividades:

12. a) Veja informações no Manual.

a. Pesquisem a respeito do tema acessibilidade: o que é, quais são as leis brasileiras que garantem esse direito e qual é sua importância para a sociedade.

12. b) Resposta pessoal.

b. Analisem as condições de acessibilidade na escola e em seu entorno. Como são as calçadas, o acesso à faixa de pedestres, o acesso às salas de aula? O que pode ser melhorado? Escrevam uma carta relatando sua análise à direção da escola ou a um vereador de sua cidade, que tenha como introdução um texto a respeito da importância da acessibilidade na escola e em toda a cidade.

## Questões do Enem e de vestibulares

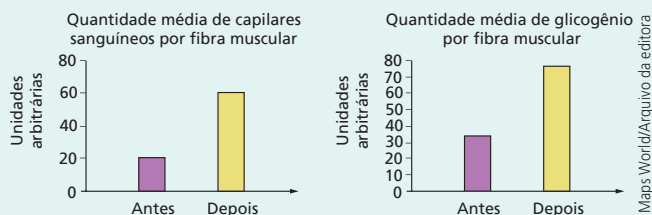
13. (UFJF-MG) O tecido conjuntivo especial do tipo ósseo tem, na sua matriz, substâncias orgânicas (fibras colágenas principalmente) e inorgânicas (íons cálcio e fosfato principalmente). Se, experimentalmente, retirássemos apenas o componente inorgânico dos ossos, o que aconteceria com eles?

- Ficariam quebradiços.
- Ficariam mais duros.
- Ficariam porosos.
- Ficariam borrachudos. 13. d
- Não sofreriam alteração.

14. (Fuvest-SP) Consideremos o seguinte fato: o aumento do consumo de carboidrato no músculo é acompanhado de um aumento imediato e considerável do consumo de  $O_2$  e de um aumento paralelo da eliminação de  $CO_2$ . Qual a explicação para esse fato e por que o músculo é considerado um transformador de energia? 14. Consulte o Manual.

15. (UFRJ) Os gráficos a seguir representam duas características de fibras musculares de jovens saudáveis, medidas antes e depois de realizarem, por algumas semanas, exercício físico controlado, associado a uma dieta equilibrada. Marcante melhoria no condicionamento físico desses jovens foi observada.

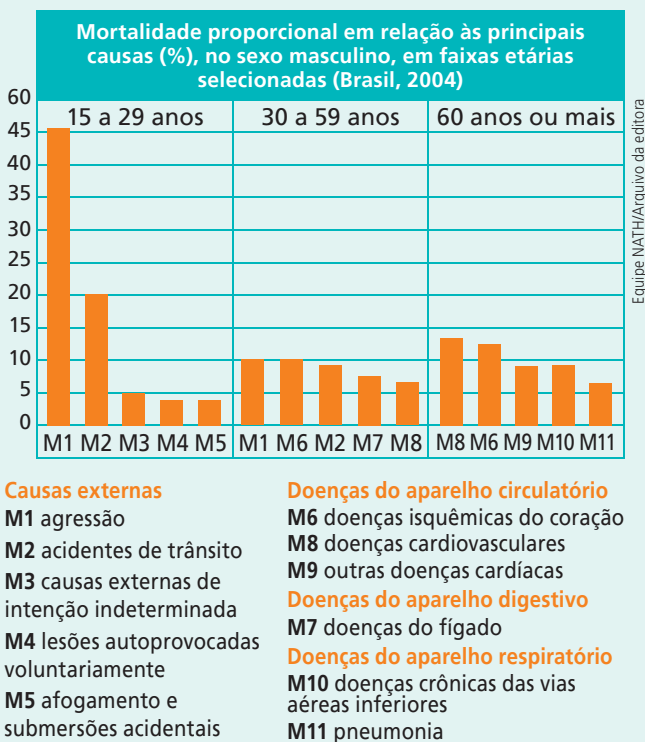
15. Consulte o Manual.



Maps World/Arquivo da editora

Explique, com base nos gráficos, a relação entre a melhoria do condicionamento físico dos jovens e as variações na quantidade de capilares sanguíneos por fibra muscular, e quantidade de glicogênio por fibra muscular.

16. (Enem-2008) A figura abaixo apresenta dados percentuais que integram os Indicadores Básicos para a Saúde, relativos às principais causas de mortalidade de pessoas do sexo masculino.



Equipe NATH/Arquivo da editora

Fonte: <<http://tabnet.datasus.gov.br>> (adaptado).

O limite de concentração de álcool etílico no sangue estabelecido para os motoristas revela que a nova legislação brasileira de trânsito é uma das mais rígidas do mundo. Apesar dos aspectos polêmicos, a "lei seca" pode mudar substancialmente os indicadores de mortalidade, particularmente no que se refere a

- gripe e pneumonia.
- doenças do aparelho urinário.
- acidentes vasculares cerebrais.
- doenças sexualmente transmissíveis.
- agressões e acidentes de trânsito. 16. e



# Coordenação nervosa e sentidos



## 1 Organização do sistema nervoso

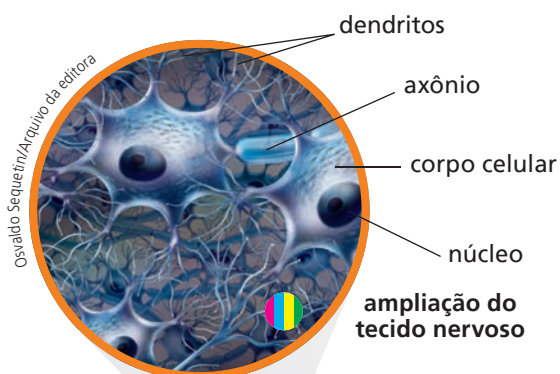
No corpo humano, dois sistemas são os responsáveis pelo controle da maioria das funções do organismo: o endócrino e o nervoso. O sistema endócrino, que estudaremos no capítulo 5, realiza a secreção de hormônios. O sistema nervoso, que estudaremos neste capítulo, transmite impulsos nervosos e assim realiza funções como controlar as contrações musculares e o funcionamento das vísceras, coordenar os movimentos cardiorrespiratórios e até mesmo a secreção de hormônios pelas glândulas endócrinas.

O sistema nervoso do ser humano, como o de outros vertebrados, é centralizado, isto é, apresenta a maior parte de suas células nervosas em órgãos localizados na região cefálica. Veja na ilustração ao lado uma representação esquemática das partes principais do sistema nervoso.

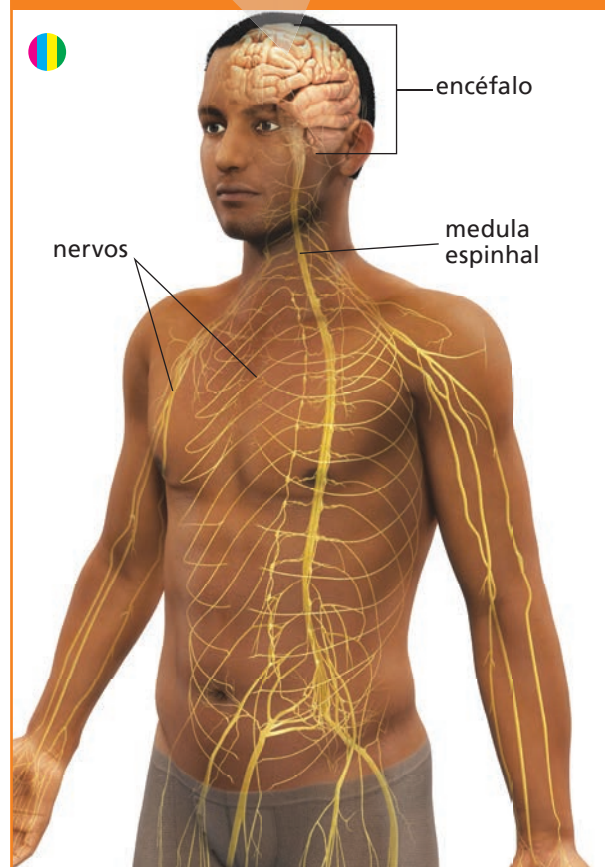
A chamada **parte central do sistema nervoso** (sistema nervoso central) é formada pelo encéfalo, que está dentro da caixa craniana, e pela medula espinhal (medula raquidiana), que é envolvida pelas vértebras da coluna. Como vimos no capítulo anterior, o fato de a parte central do sistema nervoso estar dentro dos ossos que compõem o esqueleto axial é fundamental para a proteção desses órgãos, que controlam o funcionamento do corpo.

A **parte periférica do sistema nervoso** (sistema nervoso periférico) é formada pelos nervos, que se comunicam com a parte central, encaminhando para ela estímulos provenientes de todas as regiões do corpo e transmitindo impulsos nervosos gerados no encéfalo e na medula espinhal.

O sistema nervoso é formado pelo **tecido nervoso**, constituído por neurônios e outros tipos celulares. Os neurônios são células especializadas na transmissão de impulsos eletroquímicos, ou impulsos nervosos.



### Sistema nervoso do ser humano



Esquema simplificado representando, por transparência, o **sistema nervoso do ser humano** e, no detalhe, neurônios, que fazem parte do tecido nervoso.

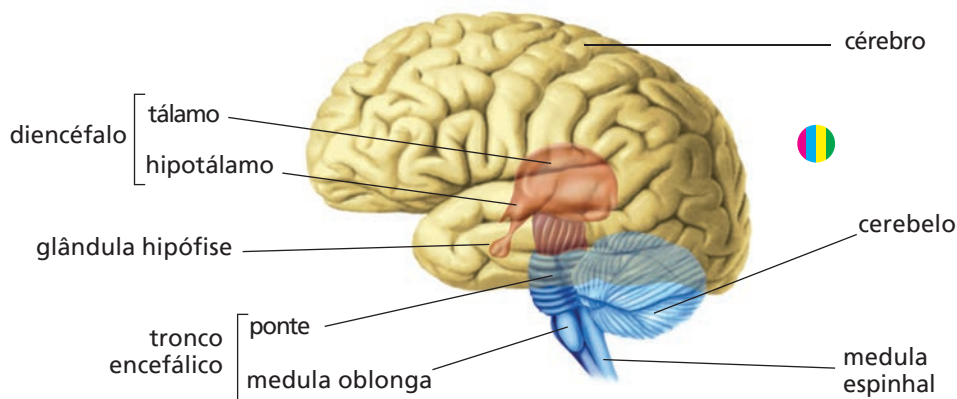


## 1.1 Parte central do sistema nervoso

Vamos conhecer as regiões que formam o encéfalo e a medula espinhal.

O **encéfalo** é a região protegida pelo crânio e pode ser dividido nas seguintes regiões: cérebro, diencefalo, cerebelo e tronco encefálico.

➤ Esquema mostrando o **encéfalo** em vista lateral. O diencefalo, a glândula hipófise, o tronco encefálico e o cerebelo estão representados por transparência.



Veja informações no Manual.

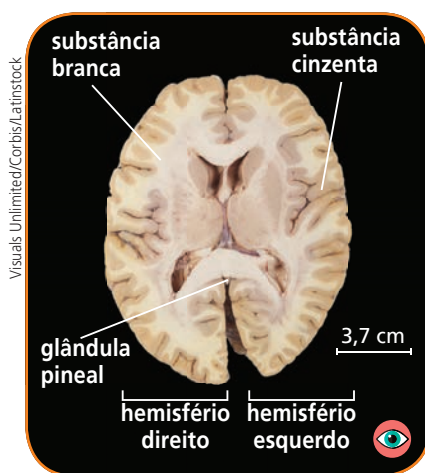


**REÚNA-SE COM OS COLEGAS**

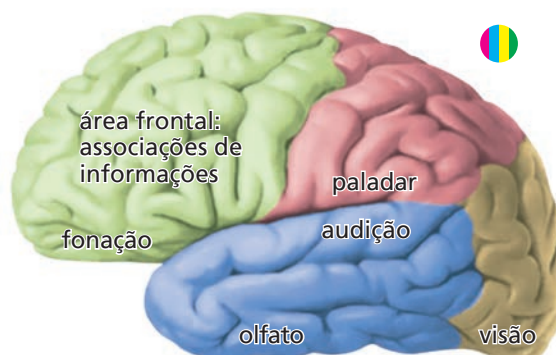
Busquem informações em livros e na internet sobre um dos temas a seguir:

- Quais são as principais semelhanças e diferenças entre o cérebro humano e o de outros mamíferos?
  - Quais são os avanços recentes no desenvolvimento de próteses comandadas por impulsos cerebrais?
- Com as informações, elaborem um seminário para apresentar aos colegas.

➤ Corte transversal de **cérebro humano** de uma pessoa adulta, em que é possível distinguir a substância branca e a cinzenta.



Visuals Unlimited/Corbis/Latinstock



➤ Esquema mostrando o hemisfério esquerdo do cérebro em vista lateral, destacando algumas das **áreas do córtex cerebral especializadas em certas funções**.

O **tálamo** e o **hipotálamo** fazem parte de uma região chamada **diencefalo**. O tálamo atua retransmitindo informações sensoriais para o cérebro; o hipotálamo está envolvido no controle da temperatura corpórea, no balanço hídrico e na produção e liberação de alguns hormônios, entre outras funções.

O **cerebelo** possui células envolvidas na coordenação motora e na percepção da localização no espaço e postura (equilíbrio).

Luís Moura/Arquivo da editora

Luís Moura/Arquivo da editora

Na página da internet indicada na seção *Multimídia*, está o link que dá acesso ao texto relatando em detalhes as pesquisas coordenadas por Roberto Lent e Suzanaerculano-Houzel, da UFRJ. Eles descobriram que o córtex cerebral abriga apenas 16 bilhões de neurônios, estando a maioria deles localizada no cerebelo (69 bilhões). Saiba mais também no link: <<http://revistapesquisa.fapesp.br/2012/02/23/números-em-revisão/>>. Acesso em: 13 fev. 2016.

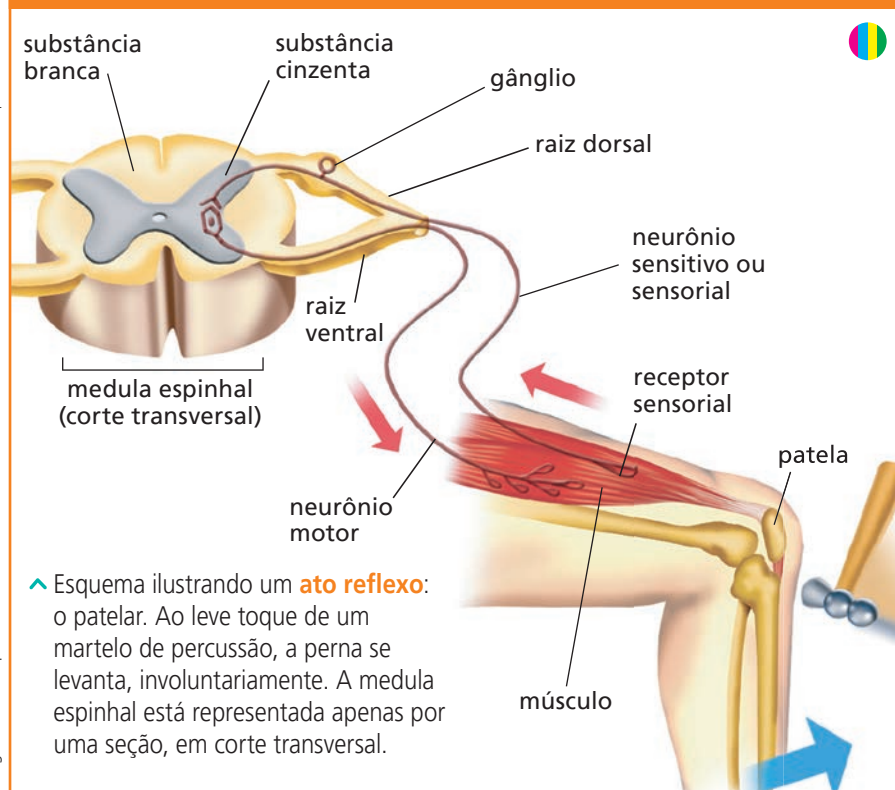
O **tronco encefálico** é a região de comunicação entre cérebro e medula espinhal, e é formado por **ponte** e **medula oblonga (bulbo)**. Na ponte ocorre o cruzamento das vias motoras de modo que o hemisfério esquerdo do cérebro controla o lado direito do corpo, e o hemisfério direito controla o lado esquerdo. A medula oblonga controla movimentos respiratórios e cardíacos, além de alguns atos reflexos, como a tosse, a deglutição e o vômito.

Na parte central do sistema nervoso também se localiza a **glândula pineal**, que tem o tamanho aproximado de uma semente de ervilha. Essa glândula produz e libera **melatonina**, hormônio envolvido no controle do relógio biológico, ou seja, dos períodos de sono e vigília. A liberação de melatonina é influenciada principalmente pela luz, o que significa que nosso relógio biológico tem correspondência com o ciclo do dia e da noite. Outra glândula presente no encéfalo é a **hipófise**, que faz parte do sistema endócrino.

Quando comparamos o volume do encéfalo com o volume total do corpo, observamos que o encéfalo é muito maior nos seres humanos do que nos outros vertebrados. Uma pesquisa realizada em 2012, por uma equipe de neurocientistas brasileiros, verificou que o encéfalo de pessoas adultas possui aproximadamente 86 bilhões de neurônios. A maior parte desses neurônios localiza-se no cerebelo; cerca de 16 bilhões de neurônios formam o córtex cerebral.

A **medula espinhal** é um cordão formado por células nervosas que conduzem informações sensoriais para o encéfalo e deste para diversos órgãos ou estruturas do corpo. Alguns movimentos da musculatura esquelética, conhecidos como **atos reflexos**, estão relacionados apenas com a medula, enquanto outros apenas com o bulbo. Um exemplo de ato reflexo que envolve apenas a medula espinhal é o chamado reflexo patelar, ilustrado abaixo.

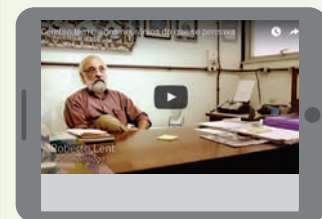
### Reflexo patelar



### MULTIMÍDIA

#### Pesquisa Fapesp – Cérebro tem menos neurônios do que se pensava

<<http://revistapesquisa.fapesp.br/2012/04/27/cerebro-tem-menos-neurônio-do-que-se-pensava/>>



Reprodução

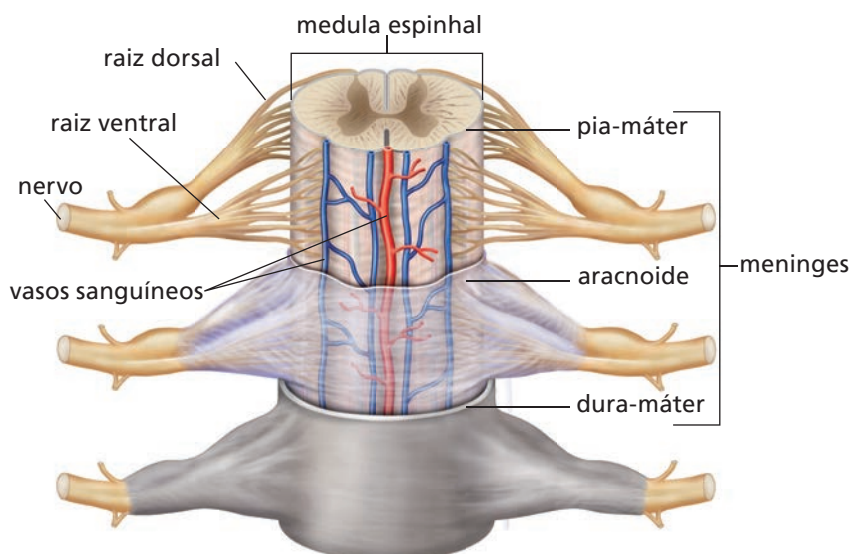
Descubra como o cientista Roberto Lent e seus colegas da Universidade Federal do Rio de Janeiro chegaram ao número de 86 bilhões de neurônios no encéfalo humano. As pesquisas continuam, pois a amostra analisada, em 2012, foi de apenas 4 encéfalos, de pessoas sem problemas de saúde, que morreram com cerca de 70 anos de idade.

Acesso em: 13 fev. 2016.

- Com um instrumento especial, chamado martelo de percussão, a médica toca levemente o joelho e o **ato reflexo** esperado é a extensão involuntária da perna.



## Meninges envolvendo a medula espinhal



▲ A medula espinhal é envolvida pelas **meninges**. Cada uma delas está parcialmente representada no esquema.



A medula espinhal e o encéfalo são envolvidos por três membranas resistentes, chamadas **meninges**, que, assim, protegem toda a parte central do sistema nervoso. A membrana externa e mais resistente é a **dura-máter**, a intermediária é a **aracnoide** e a interna é a **pia-máter**. Esta última é muito vascularizada e se liga diretamente ao tecido nervoso do encéfalo e da medula espinhal. Entre a aracnoide e a pia-máter há um espaço preenchido por um líquido denominado **líquido cefalorraquidiano**, ou **líquido cerebrospinal** (ou cerebrospinal).

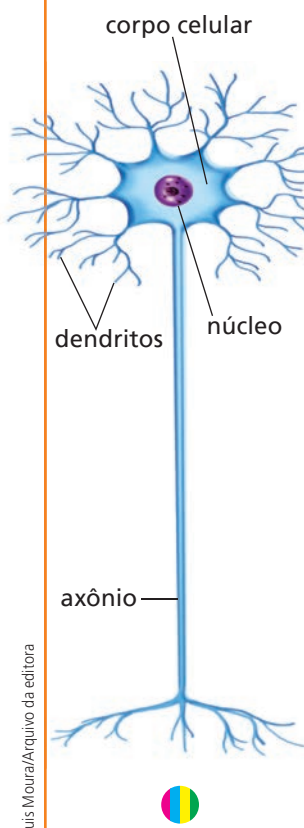
## 1.2 Parte periférica do sistema nervoso

A parte periférica do sistema nervoso é composta pelos **nervos**, que são constituídos por fibras nervosas. Para compreender o que é um nervo, precisamos ver como é um neurônio, a célula responsável pela transmissão dos impulsos nervosos (veja a figura ao lado).

O neurônio possui um corpo celular, onde se localizam o núcleo e as organelas citoplasmáticas, e de onde partem dois tipos de prolongamentos: os dendritos e os axônios (ou fibras nervosas). Um impulso nervoso ocorre sempre no mesmo sentido: é captado pelos dendritos, passa pelo corpo celular e pelo axônio, e estimula a célula em contato com as ramificações na extremidade do axônio.

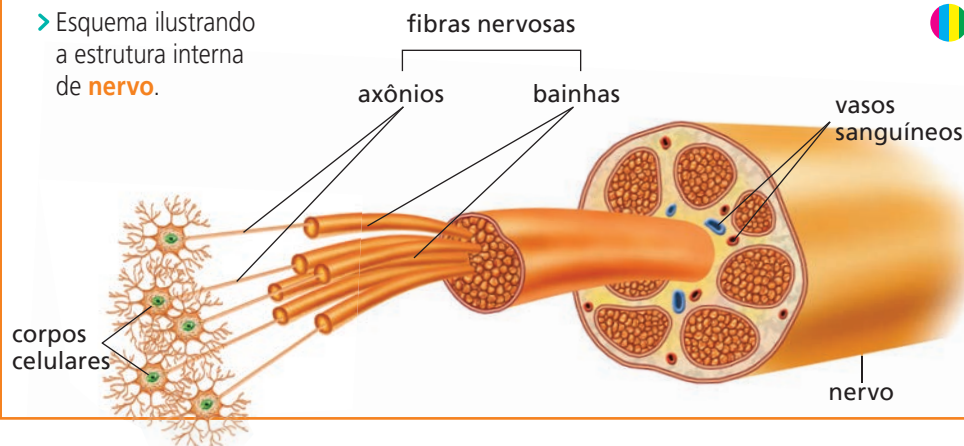
Um **nervo** é um feixe de axônios ou fibras nervosas. Essas fibras são revestidas por uma bainha de mielina, substância lipídica que torna a transmissão de impulsos nervosos mais rápida do que em fibras sem mielina.

### Neurônio



### Nervo

➤ Esquema ilustrando a estrutura interna de **nervo**.





Os nervos podem ser classificados de acordo com sua região de origem: espinhais e cranianos.

Da medula espinhal partem 31 pares de nervos espinhais, que possuem fibras sensoriais e fibras motoras. As fibras sensoriais conduzem a informação do corpo para a parte central do sistema nervoso e as fibras motoras conduzem a informação da parte central para o corpo.

Da região inferior do cérebro e do tronco encefálico partem 12 pares de nervos cranianos.

Além dos nervos, na parte periférica do sistema nervoso existem os **gânglios nervosos**, que correspondem a corpos celulares de neurônios localizados fora da parte central.

Os nervos promovem a comunicação entre as estruturas do organismo e a parte central do sistema nervoso. Imagine a seguinte situação: uma pessoa encosta acidentalmente a mão em uma superfície aquecida. Nervos sensoriais localizados na pele são estimulados pela diferença de temperatura e conduzem impulsos eletroquímicos até a parte central do sistema nervoso, especificamente até a medula espinhal. Nervos motores enviam a resposta: ao atingirem os músculos do braço e da mão, estimulam o movimento que afasta a mão da superfície aquecida. Esse movimento é um ato reflexo, semelhante ao que vimos anteriormente para o reflexo patelar. Em um primeiro momento, a resposta do corpo ao estímulo é involuntária e inconsciente, pois não envolve imediatamente áreas do cérebro.

Existem respostas mais elaboradas, como na produção de movimentos voluntários. Digitar no teclado do computador, por exemplo, é um ato que envolve áreas do encéfalo, além dos nervos e da medula espinhal. Nesse caso, são importantes a área cerebral responsável pelo controle motor e o cerebelo, entre outras regiões do sistema nervoso, até que os nervos motores estimulem músculos do antebraço e da mão e promovam o movimento. Esses mecanismos mais elaborados não constituem atos reflexos.

Veja a seguir um esquema mostrando dois dos nervos que partem da medula espinhal, passam pelo braço e antebraço e chegam até a mão. Com o funcionamento desses nervos, é possível realizar ações como digitar em um teclado ou segurar uma caneta, por exemplo.

✓ Esquema ilustrando, por transparência, dois **nervos** que partem da região cervical da medula espinhal e inervam músculos da mão.

### Nervo mediano e nervo ulnar



Oswaldo Sequeitri/Arquivo da editora

◀ Digitar em um teclado é uma **ação voluntária e complexa** do ponto de vista nervoso, pois envolve diversas áreas do encéfalo, a medula espinhal e os nervos.

Daniel Allan/Acevo do fotógrafo



## RECORDE-SE

**Parte central do sistema nervoso**

Formada por encéfalo e medula espinhal.

**Parte periférica do sistema nervoso**

Formada pelos nervos e gânglios nervosos, organizada em parte somática (voluntária) e parte autônoma (involuntária).

**Nervos da parte autônoma**

Pertencem a uma das duas divisões: simpática ou parassimpática.

- ✓ Esquema mostrando a ação das **divisões simpática e parassimpática da parte autônoma do sistema nervoso** e órgãos inervados por elas. As linhas azuis representam os nervos parassimpáticos e as linhas vermelhas, nervos simpáticos.

Existem também ações de elaboração complexa que não são conscientes. Um exemplo é o controle nervoso do ritmo cardíaco. Neste caso, terminações de nervos sensoriais localizadas na parede de vasos sanguíneos detectam alterações no nível de acidez do sangue, entre outros fatores. Como resposta, a parte central do sistema nervoso pode determinar o aumento ou a diminuição do ritmo cardíaco, dependendo da alteração percebida nos vasos sanguíneos.

A função motora da parte periférica do sistema nervoso é, portanto, responsável pelo controle de ações voluntárias e involuntárias. Esse é um dos aspectos observados para a organização da parte periférica do sistema nervoso em somático (voluntário) e autônomo ou visceral (involuntário).

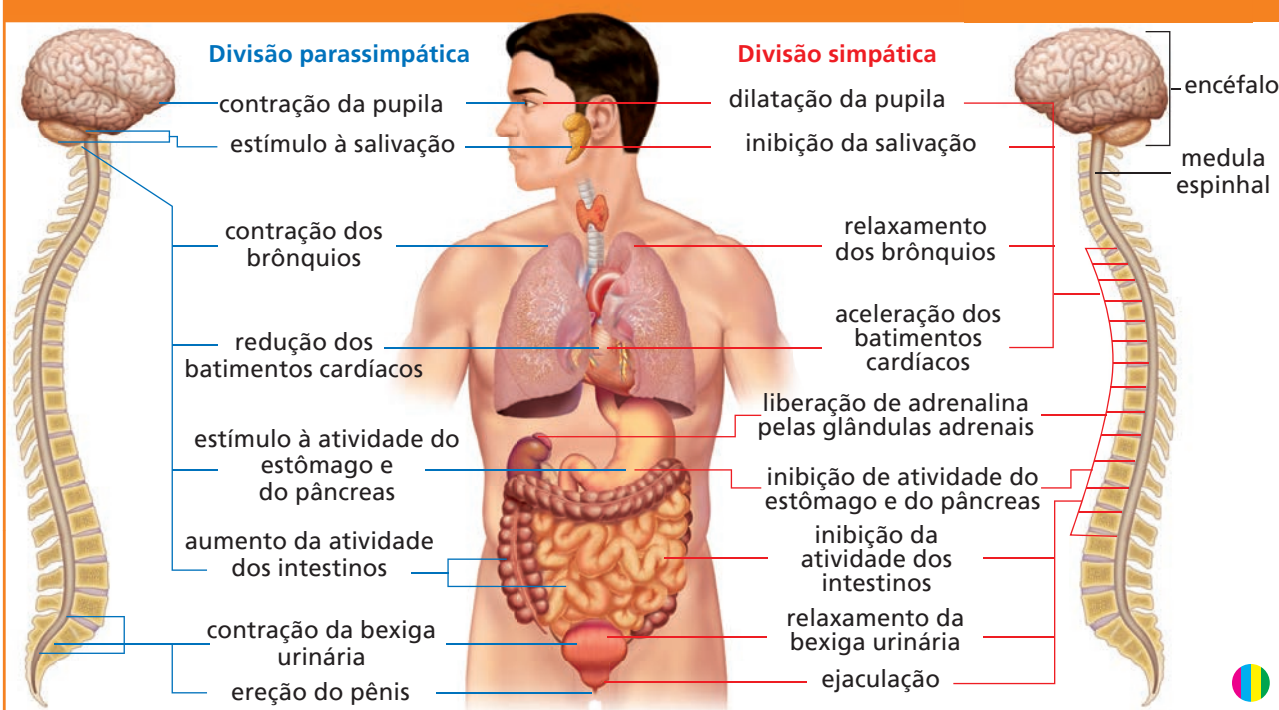
A parte autônoma do sistema nervoso consiste em duas divisões formadas por nervos que, quando inervam o mesmo órgão, exercem ação antagônica.

Em uma dessas divisões, chamada **divisão simpática**, os nervos partem da medula espinhal e geralmente liberam uma substância, a noradrenalina, que promove reações como: aceleração dos batimentos cardíacos e do ritmo respiratório, inibição do funcionamento do sistema digestório, liberação de glicose para o sangue pelo fígado, dilatação das pupilas, entre outras.

Os nervos da **divisão parassimpática** partem das extremidades da medula espinhal e liberam acetilcolina, que provoca diminuição do ritmo cardíaco e respiratório, estimulação dos órgãos digestivos, contração das pupilas, entre outros efeitos.

A parte autônoma do sistema nervoso é constituída também por **gânglios**. Os **gânglios simpáticos** dispõem-se paralelamente à medula espinhal e distantes dos órgãos inervados por eles; os **gânglios parassimpáticos** formam-se próximos ou até mesmo dentro dos órgãos inervados por eles.

Em situações extremas, a divisão simpática promove um estado de alerta. No entanto, as duas divisões autônomas interagem na coordenação do funcionamento normal de nosso organismo. Além disso, alguns órgãos podem receber estímulos simpáticos e parassimpáticos ao mesmo tempo, produzindo uma resposta intermediária.

**Parte autônoma do sistema nervoso**

As figuras estão representadas em diferentes escalas.



## 2 Sentidos

Vimos que as fibras sensoriais dos nervos conduzem impulsos nervosos das diversas regiões do corpo até a parte central do sistema nervoso. Mas como essas fibras são estimuladas, isto é, como se originam os impulsos nervosos que elas transmitem?

Existem estruturas conhecidas como **receptores**, capazes de detectar estímulos provenientes do ambiente externo ao corpo (luz, som, moléculas odoríferas, pressões mecânicas etc.) ou do interior do organismo (nível de acidez no sangue, variações internas de temperatura etc.). Os receptores são constituídos por células especiais ou por terminações de nervos sensoriais e diferem de acordo com o tipo de estímulo que são capazes de reconhecer.

Determinadas estruturas ou regiões do corpo são chamadas **órgãos dos sentidos** por concentrarem um tipo particular de receptor, permitindo a percepção do ambiente externo. Os olhos, por exemplo, abrigam fotorreceptores, que reagem a estímulos luminosos (*foto* = luz).

Em alguns órgãos dos sentidos, os receptores não são células nervosas, mas células especiais que fazem sinapse com neurônios sensitivos, sendo estes os responsáveis por encaminhar os impulsos nervosos até o encéfalo.

Como os receptores são específicos para determinado tipo de estímulo, a informação que chega ao encéfalo através de impulsos nervosos é interpretada por áreas específicas. Os impulsos nervosos provenientes dos fotorreceptores da retina, por exemplo, podem ser interpretados, no cérebro, como imagens.



### MULTIMÍDIA

#### Álcool, Cigarro e Drogas

Jairo Bouer,

Ed. Panda Books, 2005.

Neste livro, o médico Jairo Bouer explica de forma direta os problemas causados, na saúde e na vida social, pelo consumo de substâncias que alteram o funcionamento do sistema nervoso, por agirem nas sinapses nervosas.

### Sinapse

A comunicação entre dois neurônios ocorre por meio de uma região chamada **sinapse**. Como já vimos, a transmissão do impulso nervoso acontece no seguinte sentido: dendritos → corpo celular → axônio.

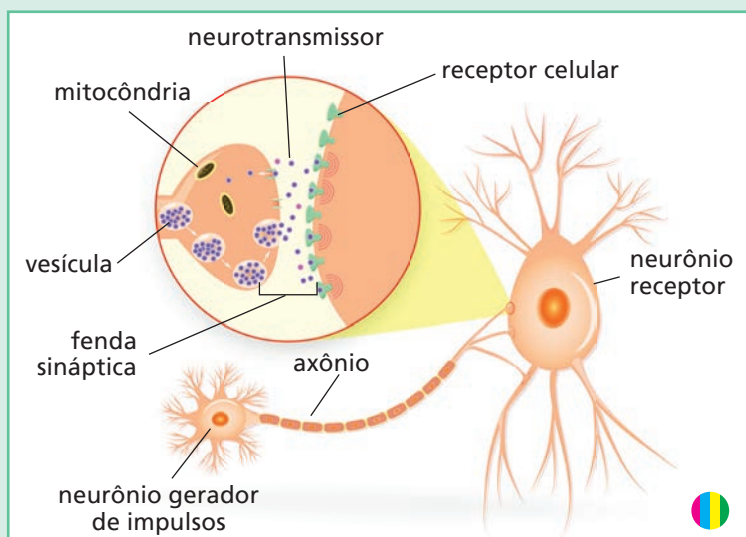
Não há contato direto entre um neurônio e aqueles aos quais está conectado; entre as ramificações do axônio e um dendrito ou corpo celular de outro neurônio existe uma fenda sináptica, de cerca de 20 nanômetros.

Ao chegar à extremidade ramificada do axônio, o impulso nervoso estimula a liberação de **neurotransmissores** na fenda sináptica. Neurotransmissores são substâncias produzidas pelo próprio neurônio, armazenadas em vesículas que se fundem à membrana plasmática na sinapse. Os neurotransmissores são captados por proteínas especiais – chamadas receptores celulares – e a partir desse momento o impulso nervoso é gerado na célula receptora.

Vejamos um exemplo do trajeto de impulsos nervosos, a partir de um estímulo externo: as moléculas responsáveis pelo odor (cheiro) de uma laranja ativam receptores existentes no interior do nariz e impulsos nervosos são gerados nos neurônios do chamado bulbo olfatório. Os axônios desses neurônios formam o nervo olfatório, que termina em uma região do cérebro. Pela sinapse, os axônios do nervo transmitem impulsos aos neurônios cerebrais.

Um neurônio pode se comunicar não apenas com outro neurônio, mas também com outros tipos de célula, como a fibra muscular, conforme vimos no capítulo 1.

- Esquema ilustrando a **sinapse** entre dois neurônios. O detalhe mostra a fenda sináptica e os neurotransmissores liberados por ocasião do impulso nervoso.



Designua/Shutterstock





## MULTIMÍDIA

## O cérebro nosso de cada dia

<<http://www.cerebro.nosso.bio.br/>>

Este site, elaborado pela neurocientista Suzana Herculano-Houzel, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, apresenta textos e vídeos com muitas curiosidades a respeito do funcionamento do sistema nervoso e sua relação com nossas percepções.

Acesso em: 13 fev. 2016.



Um exemplo de receptores internos são os receptores de pressão, ou barorreceptores, que atuam na regulação da pressão sanguínea e dos batimentos cardíacos.

➤ Esquema simplificado que utiliza uma analogia visual para entendermos o que é **homeostase**: a gangorra simboliza desequilíbrio em uma condição do organismo, provocado por um estímulo. Tal estímulo, detectado pelo sistema nervoso, desencadeia uma resposta que regulariza o funcionamento da condição afetada. Assim a homeostase do organismo é mantida.

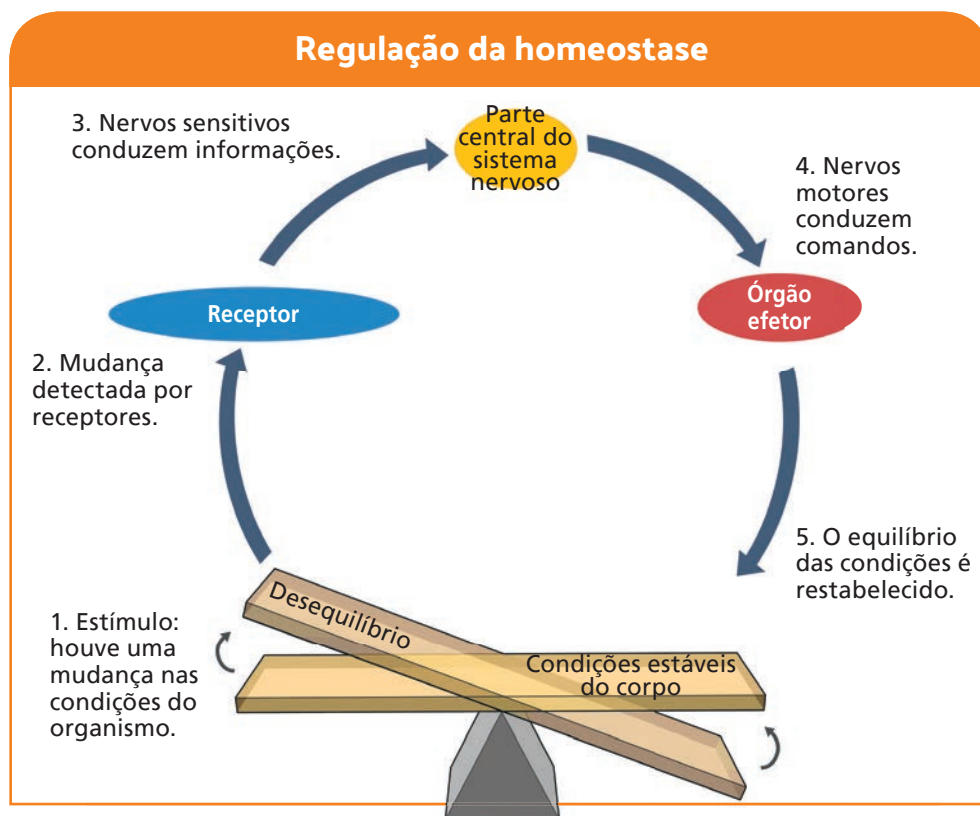
Quando o estímulo é detectado, conduzido até o encéfalo e interpretado pelo cérebro, temos uma **percepção**, ou seja, uma sensação consciente. Um estímulo luminoso, por exemplo, ao ser captado pelos olhos, ativa determinada região do cérebro. Essa região se comunica com outras partes do cérebro e, então, a imagem é interpretada. Ao ver a imagem de um cachorro, a pessoa a identifica como sendo esse animal, ativando sua memória, a região do cérebro que coordena a linguagem (associando a imagem a um nome: cachorro), entre outras percepções que resultam da formação dessa imagem.

Além da interpretação de um estímulo, o cérebro também integra os impulsos nervosos vindos de diferentes órgãos dos sentidos. Como você descreveria o sabor de sua comida favorita? É difícil separar o gosto e o aroma de um alimento, e essas duas sensações compõem o seu sabor. A visualização desse alimento em uma fotografia ou uma simples lembrança em sua mente pode também trazer a memória de seu sabor. Esses exemplos mostram de forma simplificada como vários sentidos são integrados no cérebro.

Com base nas informações sensoriais que chegam ao encéfalo, o sistema nervoso regula as respostas do corpo. Tais respostas são importantes para nossa sobrevivência. Sentindo o cheiro de fumaça ou o calor de uma fogueira, por exemplo, as pessoas se afastam de possíveis situações de risco.

O encéfalo também recebe informações que vêm dos órgãos do corpo, como os estímulos de dor ou de variação de temperatura interna. Muitos desses receptores enviam informações continuamente ao encéfalo, sem que tenhamos consciência. Existem diversos tipos de receptores espalhados pelo corpo, que não fazem parte dos órgãos dos sentidos que estudaremos aqui.

Assim, a partir das informações captadas pelos órgãos dos sentidos e daquelas que monitoram as condições internas de nosso corpo, o sistema nervoso coordena os ajustes para o funcionamento harmônico do organismo, que corresponde a um estado denominado **homeostase**.

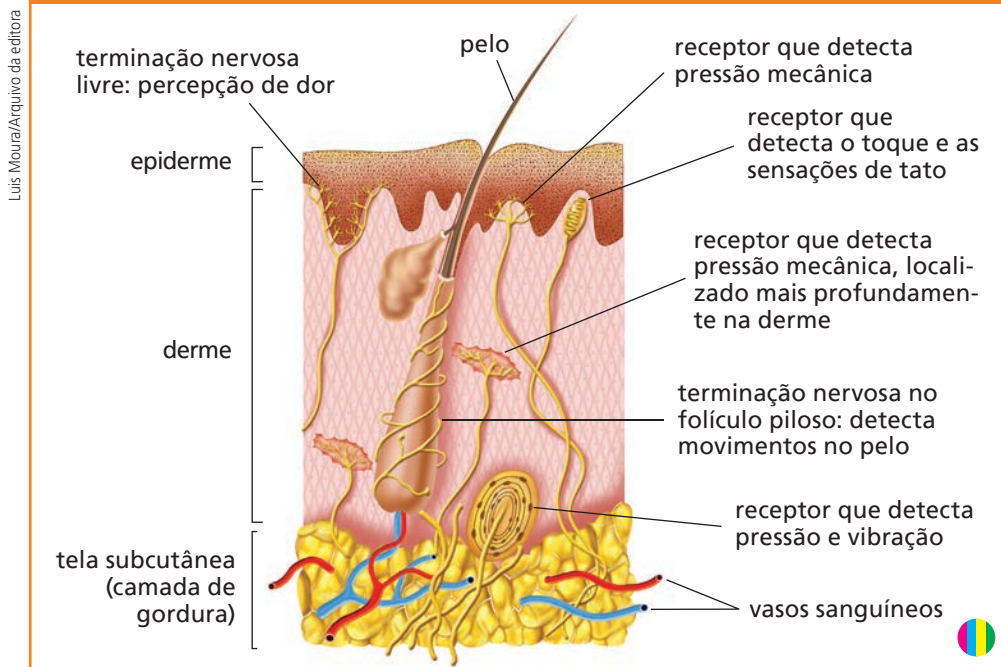


## 2.1 Tato

O órgão relacionado ao sentido do **tato** é a pele. Logo abaixo da epiderme (camada superficial da pele), localiza-se a derme, região que abriga vasos sanguíneos, as glândulas sudoríparas e as sebáceas, os folículos dos pelos e os receptores do tato. Você pode ver na figura a seguir a estrutura da pele, e identificar os diferentes receptores, ou terminações nervosas, que nela existem.

Veja no Manual mais informações a respeito dos receptores da pele.

### Pele humana: receptores do tato



Esquema ilustrando corte transversal de **pele humana**, com base em imagens de microscopia. Os **receptores do tato** estão identificados por suas funções. A distribuição de cada tipo de receptor pode variar de acordo com a área da pele. As áreas desprovidas de pelos, como a pele das mãos, pés, pálpebras e lábios, por exemplo, são ricas em receptores do tato que detectam leves toques.

As terminações nervosas da pele são classificadas de acordo com sua estrutura e função, mas não comentaremos essa classificação aqui. Em conjunto, os receptores da pele detectam estímulos mecânicos, como contato com objetos, toques, sensações térmicas e estímulos de dor. Certas regiões da pele abrigam uma concentração maior de receptores, sendo por isso mais sensíveis; é o caso das mãos e do rosto. O grau de sensibilidade em algumas regiões do corpo pode variar de pessoa para pessoa.



## ATIVIDADE PRÁTICA

### O tato é capaz de detectar a temperatura da água?

Antes de iniciar a atividade, converse com seus colegas a respeito da pergunta feita no título acima. Utilize seus conhecimentos a respeito do conceito de temperatura. Temperatura é sinônimo de calor? O que é calor? Após essa discussão inicial, realize os procedimentos sugeridos na escola, sob a supervisão do professor.

#### Material necessário

- Uma bacia pequena contendo água gelada;
- uma bacia pequena contendo água morna;
- uma bacia pequena contendo água à temperatura ambiente;
- papel-toalha para enxugar a mesa de trabalho;
- um termômetro usado em laboratório (de -10 °C a 150 °C).

Antes de iniciar a atividade, verifique a temperatura da água morna (de 30 °C a 33 °C); ela não deve estar quente, evitando assim queimaduras na pele.

**ALERTA**  
A atividade deve ser feita apenas sob a supervisão do professor.

### < Procedimentos >

1. Coloque o termômetro no recipiente contendo água morna. Aguarde alguns instantes e siga as instruções do professor para fazer a leitura da temperatura. Ela deve estar entre 30 °C e 33 °C; se estiver mais elevada, pode causar queimadura na pele. Nesse caso adicione um pouco de água fria e volte a fazer a medição.
2. Mergulhe uma das mãos na água gelada e a outra mão na água morna. Permaneça assim por cerca de 30 segundos e compare as sensações térmicas em cada mão.
3. Rapidamente, retire as mãos e mergulhe-as, simultaneamente, na água à temperatura ambiente. Descreva a sensação térmica em cada mão.

### < Interpretando os resultados >

- a. Elabore uma explicação para o resultado percebido. Compare com a explicação formulada por seus colegas. *a. Consulte o Manual.*
- b. O tato é capaz de fornecer uma medida da temperatura da água? Justifique sua resposta. *b. Não, o tato permite detectar uma sensação térmica. A medida da temperatura é feita por termômetros.*

### < Indo além >

Na ilustração ao lado, conhecida por “homúnculo”, as partes do corpo humano foram representadas de acordo com a concentração de receptores táteis na pele. Em relação ao procedimento experimental realizado, haveria alguma diferença se a parte do corpo em contato com a água gelada ou morna fosse, por exemplo, a pele do joelho? Justifique sua opinião. *Sim. A pele do joelho é menos sensível do que a das mãos.*



Peter Gardner/SP/Latinstock

## <2.2> Visão

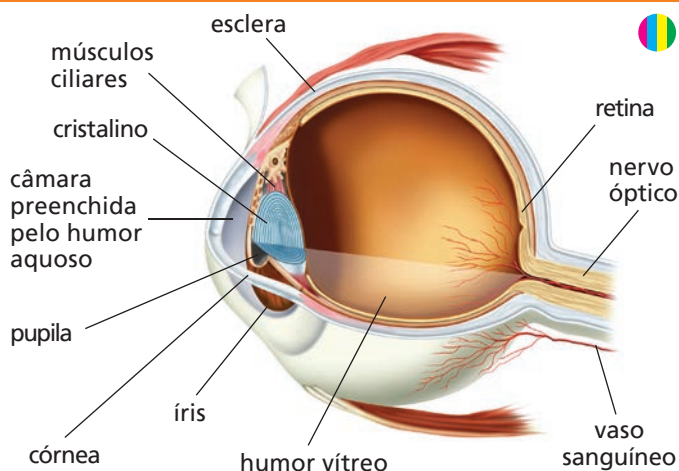
Os **olhos**, que são os órgãos sensoriais relacionados com a **visão**, são constituídos por um sistema de lentes que podem, dentro de certos limites, ajustar seu formato e focalizar os raios de luz na retina, onde se localizam os fotorreceptores.

Veja na ilustração ao lado a estrutura interna do olho humano e, em seguida, acompanhe a descrição de suas principais partes.

A primeira lente do olho humano, a **córnea**, é fixa. Ela é protegida contra agressões externas pelas pálpebras e pelas lágrimas. A córnea corresponde a uma região transparente da **esclera**, a camada mais externa do globo ocular, que é branca, com exceção da porção constituinte da córnea.

Seguindo o trajeto que a luz faz ao entrar no olho, após a córnea, está a **íris**, a parte colorida do olho, que possui um orifício central de abertura variável, a **pupila**. Quando a luz ambiente é intensa, a íris aumenta, reduzindo a pupila, permitindo, assim, pouca entrada de luz no olho. O inverso acontece quando os olhos recebem pouca luz, como acontece em um ambiente sombreado.

### Estrutura interna do olho



- Esquema mostrando a **estrutura do olho humano** visto em corte. O espaço entre a córnea e a íris está preenchido pelo humor aquoso; o interior do globo ocular está preenchido pelo humor vítreo.



Após passar pela pupila, a luz atinge e atravessa a segunda lente, o **cristalino** ou **lente** (termo usado na nomenclatura anatômica mais recente). A lente é relativamente flexível, sustentada por ligamentos que se originam nos **músculos ciliares**. Estes músculos são estriados e involuntários, localizados perifericamente à íris e aderidos à esclera. Quando o olho focaliza um objeto próximo, a contração dos músculos provoca leve deformação no cristalino, que se torna mais grosso e arredondado. O inverso ocorre na focalização de objetos distantes: o relaxamento dos músculos provoca tensão no cristalino, que se torna fino e alongado. Esse processo é chamado **acomodação visual** (veja o esquema ao lado).

Os raios de luz atingem finalmente a **retina**, onde estão os **fotorreceptores**. Os olhos dos seres humanos possuem dois tipos de receptores: os cones e os bastonetes.

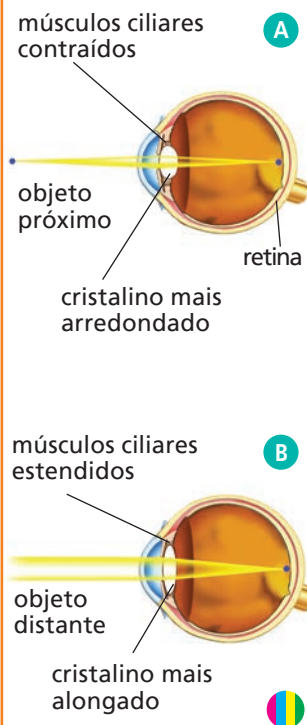
Os **cones** são estimulados por intensidades luminosas relativamente altas e são responsáveis pela percepção de cores. Já os **bastonetes** são mais sensíveis, sendo estimulados mesmo sob baixas intensidades luminosas e detectando tons de cinza, preto e branco.

Os fotorreceptores comunicam-se com o **nervo óptico** e por ele o estímulo luminoso é conduzido ao cérebro. Nas regiões visuais do cérebro, as imagens são interpretadas. Além disso, as imagens provenientes dos dois olhos são sobrepostas, propiciando uma única imagem com efeito de profundidade.

A lente ou cristalino do olho humano é um tipo de lente chamada convergente, porque provoca um desvio nos raios luminosos, fazendo-os convergir para um ponto central. Por causa desse desvio, as imagens focalizadas na retina são invertidas, tanto no sentido vertical (de cabeça para baixo), quanto lateral (direita-esquerda). Os raios luminosos que partem do lado direito de um objeto chegam ao lado esquerdo da retina, e vice-versa. Os raios luminosos que partem da parte inferior de um objeto chegam à parte de cima da retina, e vice-versa.

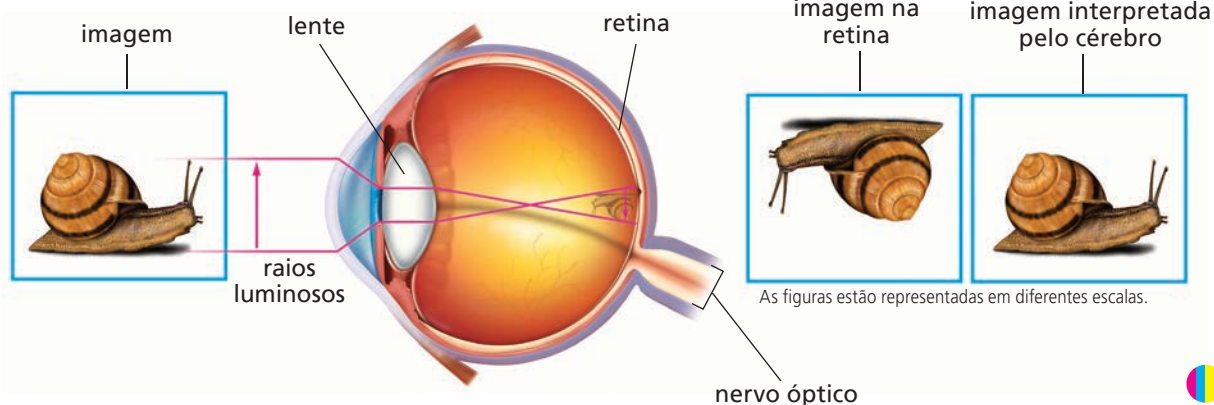
Você deve estar se perguntando: se as imagens se formam invertidas na retina, por que não enxergamos tudo de cabeça para baixo? Isso não acontece porque o cérebro interpreta as imagens. As imagens que se formam na retina são invertidas pelo cérebro e, assim, a percepção visual é a de um objeto em sua posição real.

### Acomodação visual



Esquemas que mostram a **mudança de forma do cristalino** no processo de focalização de um objeto próximo (A) e distante (B) do olho. Os globos oculares estão representados em corte.

### Formação de imagem na retina



Esquema simplificado ilustrando **formação de imagem na retina**. A imagem aparece invertida na retina porque os raios luminosos, que são retílineos, sofrem desvio ao entrar no olho. A área do córtex cerebral que interpreta os estímulos visuais é responsável por inverter a imagem formada na retina.



## ATIVIDADE PRÁTICA

### Um modelo para entender a formação de imagens na retina

As imagens se formam invertidas na retina devido à natureza da luz, que corresponde às ondas eletromagnéticas capazes de estimular nosso sistema óptico. Essas ondas se propagam em linha reta. Quando a luz atravessa um meio como a água, ela sofre um desvio, chamado refração. Utilize esses conceitos e realize a atividade proposta com sua equipe.

#### < Material necessário >

- Lupa de mão (lente de aumento);
- um pedaço de cartolina ou papelão;
- uma folha de papel vegetal ou lenço de papel;
- fita adesiva;
- lanterna;
- vaso ou aquário redondo, de vidro transparente;
- água;
- massa de modelar;
- lápis e tesoura sem ponta.

**! ALERTA**  
A atividade deve ser feita apenas sob a supervisão do professor.

#### < Procedimentos >

1. Preencha o vaso ou aquário com água. Com a fita adesiva, fixe a folha de papel vegetal ou o lenço de papel na lateral externa do vaso. Vamos chamar essa folha de papel de anteparo, pois ela vai bloquear a passagem de luz.
2. Posicione a lupa em frente ao vaso, do lado oposto à área onde está o anteparo.
3. Desenhe no centro da cartolina a letra "F", e recorte-a. Você deverá obter um cartão com o formato vazado da letra. Posicione esse cartão em frente à lupa, conforme mostrado na imagem ao lado.



Thiago Oliver/Acervo do fotógrafo

4. Posicione a lanterna atrás do cartão e ligue-a. A luz da lanterna deverá passar pelo recorte feito na cartolina, pela lupa, pela parede de vidro do vaso, pela água e atingir o anteparo. Você visualizará melhor o resultado se o ambiente estiver sombreado ou escuro. Provavelmente será necessário ajustar o foco da imagem formada no anteparo, aproximando ou afastando a lupa do vaso.

#### < Interpretando os resultados >

- a. Represente em seu caderno a imagem formada no anteparo e compare-a com a imagem recortada na cartolina. Represente também o modelo e indique em seu esquema o caminho da luz, da lanterna ao anteparo. Compare o modelo com o olho humano, indicando a qual estrutura do olho cada parte da montagem corresponderia. a) Consulte o Manual.
- b. O anteparo pode ser comparado à retina. Se as imagens se formam invertidas, por que não são percebidas assim?  
b) As imagens formadas na retina são invertidas pelo cérebro.

#### < Indo além >

Você e sua equipe podem fazer uma pesquisa a respeito da fotografia e do cinema, explicando como cada uma dessas formas de arte surgiu, como funciona uma câmera, entre outros aspectos. Com auxílio dos professores de Física, de Arte e de Língua Portuguesa, montem uma exposição para apresentar aos demais alunos da escola.

Veja no Manual comentários e sugestão de atividade complementar.

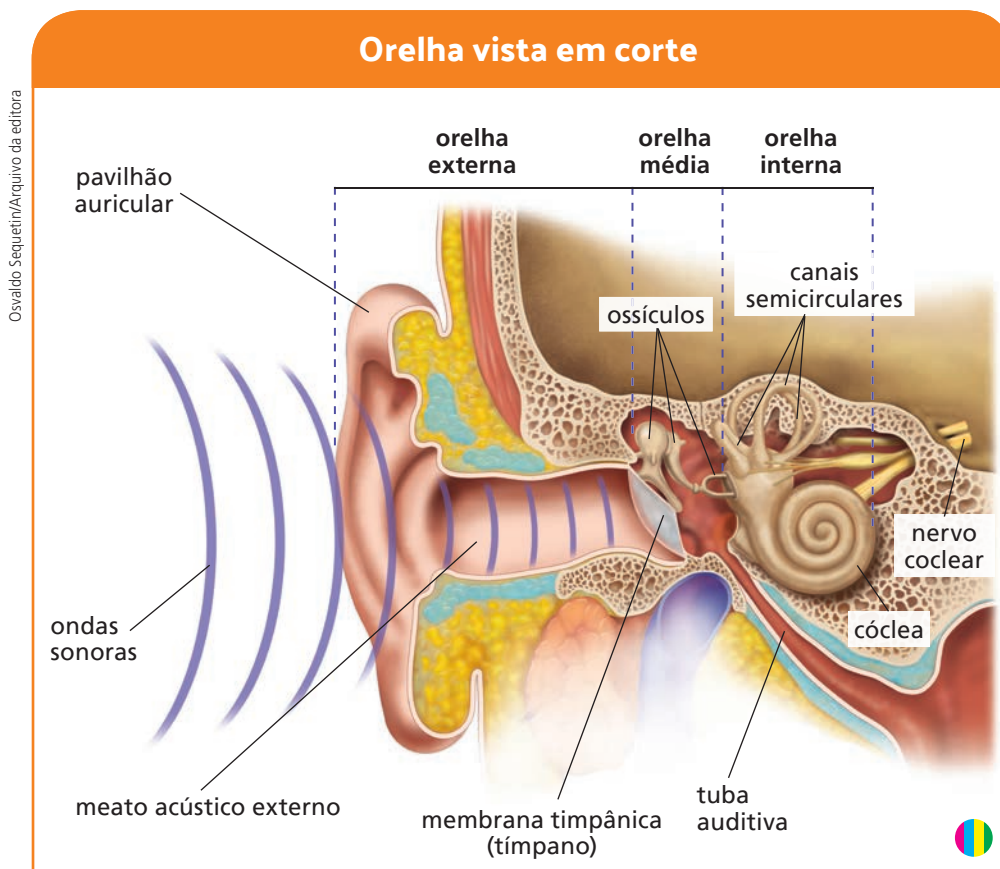
## 2.3 Audição

A estrutura que recebe os sons e que abriga os receptores sensoriais relacionados com a audição é a **orelha**. Podemos dividir essa estrutura em três regiões: orelha externa, orelha média e orelha interna. Veja o esquema abaixo.

**ATENÇÃO**

Estamos adotando neste livro a terminologia anatômica atualizada, presente em obras de referência. O termo **orelha** era antigamente chamado ouvido, e orelha, por sua vez, era o termo usado para se referir ao pavilhão auricular. Apesar de ser comum, em nosso dia a dia, o uso de “orelha” e “ouvido” com esses significados tradicionais, na Ciência há um cuidado na padronização da nomenclatura anatômica e de precisão no uso dos termos.

DIVULGAÇÃO PNLD



Esquema ilustrando a **estrutura interna da orelha**, o órgão relacionado à audição e percepção de equilíbrio. Algumas estruturas estão representadas em corte.

O **pavilhão auricular** e o **meato acústico externo** (canal auditivo) constituem a orelha externa e conduzem as ondas sonoras até o **tímpano**, uma fina membrana que demarca o início da orelha média. As ondas sonoras fazem o tímpano vibrar, e essa vibração é transmitida aos três ossículos da orelha média: o **martelo**, a **bigorna** e o **estribo**, nessa ordem. A vibração é amplificada ao passar de um ossículo para outro, até atingir uma membrana chamada **janela oval**, estrutura da orelha interna.

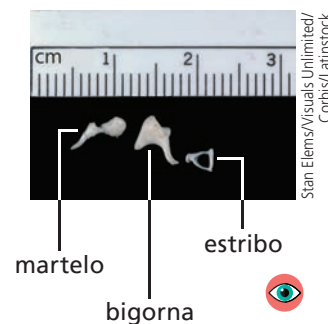


### CURIOSIDADE

#### Tímpano e pressão atmosférica

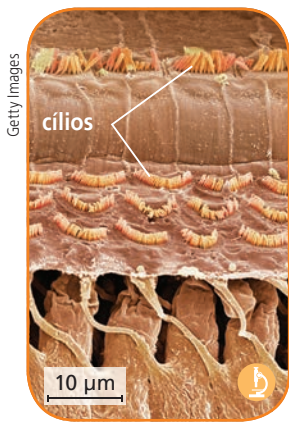
Você já reparou que em determinadas situações temos a sensação de “ouvido tapado”? O tímpano é uma membrana mantida sob tensão. Em determinadas situações, a pressão do ar que chega pelo meato acústico externo torna-se diferente da pressão dentro da orelha média, podendo prejudicar o tímpano em situações extremas. Uma situação corriqueira é a sensação de “ouvido tapado” quando estamos em altitudes elevadas, por exemplo, durante uma viagem em que um trecho da estrada sobe uma serra. Nesse caso, a pressão do ar que entra no meato acústico externo é menor do que a pressão interna na orelha média. A tuba auditiva liga a orelha média à faringe, permitindo que as pressões dos dois lados do tímpano se igualem. É por isso que, em altitudes elevadas, a sensação de “ouvido tapado” pode diminuir abrindo-se a boca: uma certa quantidade de ar sai, movendo-se da tuba auditiva para a faringe e para a boca, reduzindo a diferença de pressão nas duas faces do tímpano.

#### ✓ Ossículos da orelha média.



A tuba auditiva era denominada **trompa de Eustáquio** nas nomenclaturas antigas.





Revestimento interno da cóclea, que se chama **órgão espiral**. Os cílios pertencem às células que enviam impulsos nervosos ao nervo auditivo.

O decibel é submúltiplo da unidade bel. Segundo o Sistema Internacional de Unidades (S.I.), o plural de unidades se faz com a adição de "s" à palavra no singular (com exceção dos termos terminados em x ou z). Assim, o plural de decibel é decibels.

A janela oval comunica-se com um longo tubo enrolado, preenchido por líquido: a **cóclea**. As vibrações da janela oval são transmitidas para o líquido. Na superfície interna da cóclea está o **órgão espiral** (órgão de Corti), onde se localizam os receptores. Eles detectam a vibração do líquido e estimulam o **nervo coclear** (**nervo auditivo**). A informação é transmitida ao cérebro, onde o som é interpretado.

O **órgão espiral** é uma das estruturas mais delicadas do corpo humano. A exposição constante a sons de alta intensidade pode prejudicar os receptores e causar danos permanentes à audição. A intensidade do som é indicada pelo nível de pressão sonora, medido em decibels (dB); sons acima de 90 dB já podem provocar dano auditivo. Em um *show* de música com amplificadores, por exemplo, a intensidade do som pode ultrapassar 100 dB.

A orelha também está relacionada com o equilíbrio do corpo. Existe uma estrutura ao lado da cóclea, que se comunica com a janela oval, formada por duas câmaras (utrículo e sáculo) e por três canais semicirculares. Essa estrutura também é preenchida por líquido.

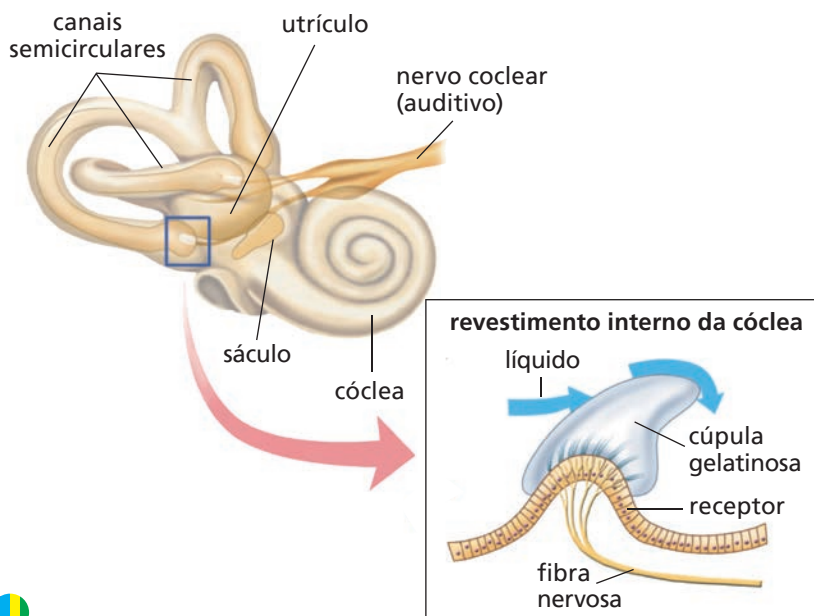
Os **canais semicirculares** detectam alterações na posição da cabeça. Quando movimentamos a cabeça, o líquido presente nas câmaras e nos canais semicirculares também se movimenta. Os receptores, localizados na parede interna das câmaras e dos canais semicirculares, estão em contato com o líquido e são estimulados quando ele se movimenta. Os receptores, então, enviam estímulos nervosos para o cérebro e o cerebelo, que nos fornecem a noção do estado de movimento. Assim, temos consciência de como a posição do nosso corpo está sendo alterada, incluindo a noção do sentido e da intensidade de nosso movimento.

O esquema abaixo representa, de forma simplificada, a orelha interna do ser humano. Observe a distribuição espacial dos canais semicirculares e suas relações com a

cóclea, o sáculo, o utrículo e com o nervo coclear (auditivo). Veja no detalhe como é o revestimento interno da cóclea: uma cúpula gelatinosa deforma-se de acordo com o movimento do líquido que está lá dentro, estimulando, assim, receptores nervosos.

Quando giramos o nosso corpo e paramos bruscamente, normalmente temos a sensação de tontura. Isso ocorre porque o líquido contido nas câmaras e nos canais semicirculares adquire movimento com a rotação da cabeça e, quando paramos bruscamente, ele continua a se movimentar por curto intervalo de tempo. As células sensoriais da orelha interna continuam sendo estimuladas e enviando ao cérebro a informação de que a cabeça está em movimento, embora nossos olhos detectem que o corpo está parado.

### Orelha interna



Esquema representando a orelha interna direita, formada pelos **canais semicirculares e pela cóclea**. No detalhe, está ilustrado parte do revestimento interno da cóclea, mostrando como os receptores são estimulados pelo movimento da cúpula gelatinosa.

## 2.4 Paladar

O gosto de um alimento é detectado pelo sentido da **gustação**, ou **paladar**, relacionado a quimiorreceptores localizados principalmente na superfície da língua, capazes de reconhecer a presença de determinadas moléculas nos alimentos.

Na superfície da língua, é possível perceber as **papilas**, elevações onde estão alojados conjuntos de receptores gustatórios. Esses receptores enviam os estímulos para neurônios sensitivos, que os encaminham para o cérebro.



### RECORDE-SE

#### Quimiorreceptores

Receptores capazes de detectar substâncias. Os quimiorreceptores do paladar reconhecem moléculas específicas e, quando estimulados, causam a percepção do gosto.

### Língua e papilas gustativas

Osvaldo Sequeitini/Arquivo da editora

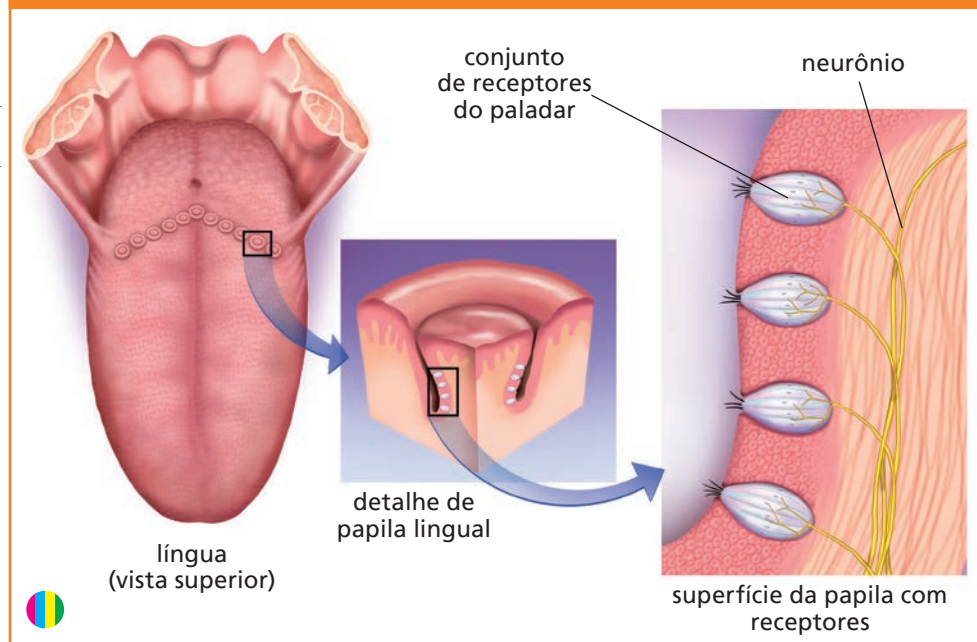
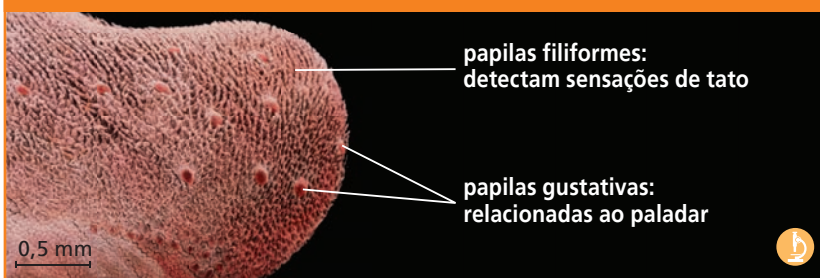


Ilustração da **língua**, de um dos tipos de papila e dos microscópicos receptores do paladar.

As papilas gustativas podem distinguir substâncias salgadas, doces, amargas e azedas.

Os receptores que detectam a presença de substâncias doces, por exemplo, são estimulados pela presença de moléculas de carboidratos, como a frutose, e até de proteínas ou peptídeos, como alguns adoçantes artificiais.

### Superfície da língua do ser humano



Prof. P. Motta/Dept. of Anatomy/University La Sapienza; Roma/SPL/Latinstock

Imagem ampliada da superfície da língua. Existem diferentes tipos de **papilas**, como as filiformes e as gustativas.

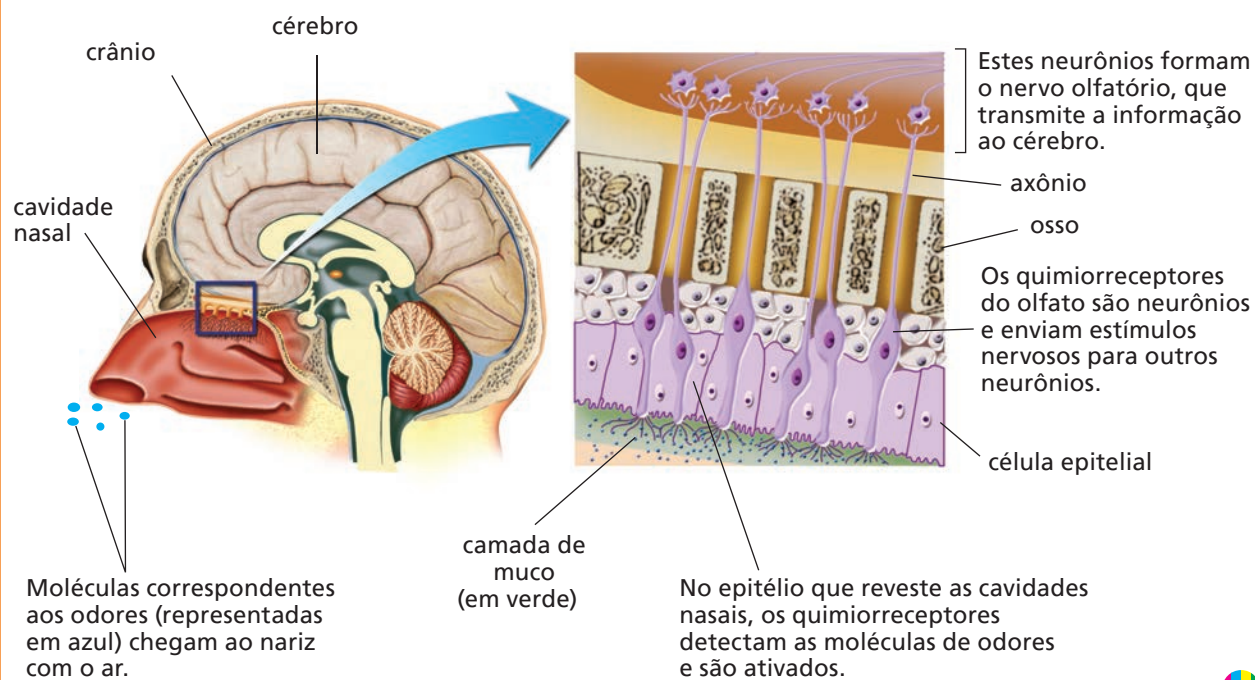
## 2.5 Olfato

O órgão sensorial que abriga os receptores relacionados ao **olfato** é o nariz, especificamente o epitélio que reveste o teto das cavidades nasais. Lá estão os quimiorreceptores que reconhecem moléculas existentes no ar, correspondendo aos odores. A ativação dos receptores provoca o estímulo do **nervo olfatório**, que o retransmite ao cérebro.

O **epitélio olfatório** é revestido externamente por uma camada de muco, que umedece a superfície das cavidades nasais. Substâncias odoríferas se dissolvem no meio aquoso do muco e são reconhecidas pelos quimiorreceptores.

## Estruturas relacionadas ao olfato

Luis Moura/Arquivo da editora



Esquema de corte longitudinal mediano da cabeça, para mostrar as **estruturas relacionadas com o olfato**.



Resposta pessoal. Veja comentários no Manual.



### REÚNA-SE COM OS COLEGAS

Nas populações humanas, existe grande variação em termos da capacidade sensorial. Existem diversos graus de deficiência visual, por exemplo; em muitos casos, o tato é utilizado para a leitura de textos, pelo método braile.

Como existe grande variação nas características físicas das pessoas, o que é necessário haver para a construção de uma sociedade justa, com igualdade de direitos a todos?

Converse com os colegas a respeito disso, dando exemplos de ações cidadãs que ocorrem em sua comunidade. Façam uma lista de aspectos que precisam ser melhorados.

Com o resultado dessa investigação, sua equipe pode criar uma canção ou um poema que fale sobre melhores condições de vida a todos os cidadãos, inclusive aqueles que possuem alguma necessidade especial.

Pelo olfato, podemos detectar cerca de 10 000 odores diferentes. As pesquisas científicas indicam que esse número está relacionado ao modo como os impulsos nervosos provenientes do epitélio olfatório se combinam no cérebro.

Antes de consumir uma laranja, podemos sentir o seu cheiro. Assim, os receptores do olfato são ativados antes dos receptores do paladar. Muitas vezes, o cheiro de um alimento é suficiente para estimular a liberação de saliva na boca. O cérebro, recebendo os estímulos do olfato e os estímulos do paladar, interpreta-os e nos fornece a sensação de sabor dos alimentos. O sabor é, portanto, o resultado da interação dos estímulos do olfato e do paladar. É por isso que, quando estamos resfriados, com o olfato prejudicado, temos dificuldade em identificar o sabor que costumamos sentir dos diversos alimentos.

## 2.6 Integração dos sentidos

O que acabamos de comentar a respeito do olfato e do paladar, cujas informações sensoriais são integradas e fornecem sensação de sabor, ocorre com os outros estímulos sensoriais, que também são interpretados conjuntamente pelo cérebro, envolvendo complexas vias neuronais.

É por isso que a visão de um alimento pode nos trazer à mente a lembrança de seu sabor, ou uma imagem pode nos remeter a um determinado som. Nessa integração, tem importante função o **hipocampo**, a região cerebral que comanda a memória.





## O quinto sabor

Consideramos, na função da gustação, as sensações salgado, doce, amargo e azedo. Há uma quinta percepção, identificada em 1908 por D. Kikunae, um cientista japonês. Ele analisou um caldo feito com algas marinhas, conhecido por *kombu dashi*, que possui um sabor característico, chamado por ele de **umami**, palavra de origem japonesa que significa delicioso, e identificou que esse sabor é causado pelo **glutamato monossódico**, um aminoácido.

O glutamato está presente naturalmente em numerosos alimentos, como leite, carnes, sardinha, tomate e muitos outros. Costuma ser também utilizado pela indústria como aditivo destinado a realçar o sabor dos alimentos.

Além do glutamato, as outras duas substâncias responsáveis pelo sabor *umami* são os nucleotídeos inosinato de sódio e guanilato dissódico.

O *umami* é considerado um dos sabores básicos pelo fato de que há na superfície da língua receptores específicos para ele, como existem para as substâncias que desencadeiam os outros quatro sabores.



Getty Images

^ Variedade de **alimentos com a presença natural do aminoácido glutamato monossódico**, responsável pelo sabor *umami*: cogumelos, pimentas, carne curada, cominho, queijo parmesão e alga marinha.

## O decibel

Pelo Sistema Internacional de unidades (SI), o bel (B) é a unidade para medida do nível de pressão sonora, um parâmetro que indica a intensidade do som. O submúltiplo **decibel** (dB) é mais utilizado que a própria unidade bel.

Os valores expressos em bels ou decibels são relativos, se confrontados com a intensidade absoluta ou potência sonora, que se refere à potência das ondas sonoras incidentes sobre uma superfície, por unidade de área. Em uma escala de valores crescentes de potência sonora, existe grande variação entre um nível e outro. O som emitido pelas turbinas de um avião, por exemplo, é cerca de um trilhão de vezes maior que a de um sussurro.

A escala em bels ou decibels é logarítmica e indica quantas vezes determinado som é mais intenso do que o ruído mínimo. O som de uma agulha caindo no chão, por exemplo, possui zero decibel (0 dB), pois corresponde ao nível mínimo de ruído que a audição humana, em condições normais, é capaz de perceber.

Veja na tabela a seguir alguns exemplos, em valores aproximados.

Intensidade sonora de alguns ruídos	
Fonte do ruído	Intensidade em dB
Sussurro	10
Biblioteca	30
Conversa normal	60
Carro	80
Trem	90
Britadeira	100
Avião a jato	120
Fonte: HEWITT, P. G. <i>Física Conceitual</i> . 11. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012, p. 375.	

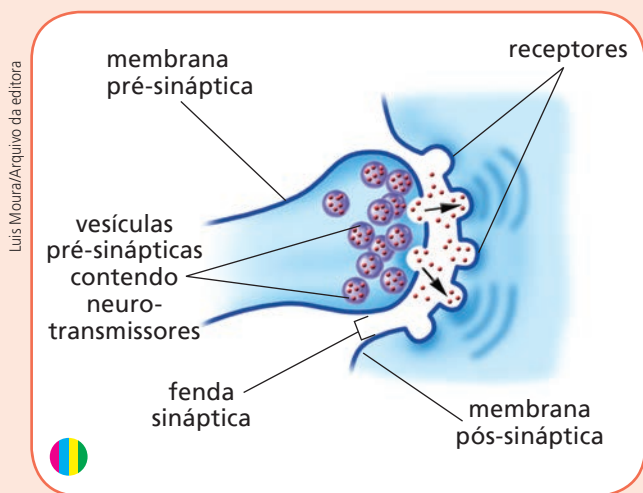
Pessoas que trabalham em locais ruidosos devem usar proteção auricular, para manter a saúde auditiva. Deve-se também evitar a exposição frequente e/ou prolongada a sons intensos, como o hábito de utilizar fones de ouvido em alto volume. A recomendação de especialistas é de usar fones por até 30 minutos por dia, utilizando no máximo 60% de sua capacidade sonora.

Fonte: Sociedade Brasileira de Otologia. Disponível em: <<http://www.sbotologia.org.br/detalhe-noticia/217/fones-de-ouvido-podem-levar-a-surdez>>. Acesso em: 13 fev. 2016.



## 1 O sistema nervoso e as drogas psicoativas

Vimos neste capítulo que a transmissão de impulsos nervosos ocorre por meio da liberação de neurotransmissores, nas sinapses. Existem diversos tipos de neurotransmissores, e cada tipo é reconhecido por receptores específicos, nas membranas das células que recebem impulsos nervosos.



Luís Moura/Arquivo da editora

Esquema simplificado ilustrando **sinapse entre dois neurônios**, onde ocorre a liberação de neurotransmissores.

Vimos também um exemplo dessa especificidade: a noradrenalina é um neurotransmissor que, quando liberado nas sinapses entre nervos da divisão simpática e determinados órgãos do corpo, produz efeitos de alerta. Já a liberação do neurotransmissor acetilcolina pelos nervos da divisão parassimpática, em sinapses com os mesmos órgãos, produz efeitos contrários.

Os cientistas verificaram que sentimentos e emoções também estão relacionados com a liberação de determinados neurotransmissores nas sinapses de neurônios em determinadas regiões do cérebro.

Existem substâncias que, uma vez na circulação sanguínea, podem chegar ao tecido nervoso e se ligar aos receptores específicos para determinado neurotransmissor, causando efeito estimulante, depressor ou perturbador na parte central do sistema nervoso. Essas substâncias são chamadas psicoativas.

Um exemplo de substância psicoativa é a cafeína, presente em grande concentração no café, no chá-mate, nos refrigerantes à base de cola e em menor quantidade no chocolate. No cérebro, a cafeína se relaciona à sensação de estar mais alerta, na maioria das pessoas, quando não é ingerida em excesso (máximo de duas porções ao dia). No entanto, muitas pessoas relatam efeitos mais intensos, como batimentos cardíacos irregulares, pressão sanguínea alta, diarreia e dificuldade para dormir. Esses sintomas negativos indicam que essas pessoas não devem consumir café ou outras fontes de cafeína.

Existem, contudo, substâncias psicoativas cujos efeitos são sempre danosos para o sistema nervoso e para a saúde, e cujo comércio e consumo são proibidos pela lei brasileira. Elas são popularmente conhecidas apenas como **"drogas"**.

Além das drogas ilícitas, as bebidas alcoólicas e o cigarro também contêm perigosas substâncias psicoativas que destroem a saúde. Apesar do grande número de doentes e mortos em consequência do hábito de fumar, e do álcool ser um dos maiores causadores de acidentes graves em todo o mundo, cigarros e bebidas alcoólicas têm venda liberada para maiores de 18 anos, em nosso país.



Moretti/Gov. do Estado de São Paulo

Símbolo da campanha do governo de São Paulo, realizada em bares, padarias, mercados e restaurantes, alertando a população a respeito da **venda proibida de bebidas alcoólicas aos menores de 18 anos**, segundo a lei brasileira.

No quadro abaixo estão indicados os principais efeitos de alguns tipos de drogas no sistema nervoso.

Efeito no sistema nervoso e principais sintomas	Tipos de drogas
<b>Efeito depressor:</b> Diminuem a atividade de determinadas vias neuronais no encéfalo. Causam, entre outros sintomas, sonolência profunda, perda dos reflexos, confusão mental.	<b>Álcool</b> <b>Tranquilizantes</b> <b>Morfina</b> <b>Heroína</b> <b>Solventes</b>
<b>Efeito estimulante:</b> Aumentam a atividade de determinadas vias neuronais no encéfalo. Acarretam sintomas como aumento da frequência cardíaca, nervosismo, tremores.	<b>Cigarro (nicotina)</b> <b>Anfetaminas</b> <b>Cocaína</b> <b>Crack</b>
<b>Efeito perturbador:</b> Alteram a atividade de determinadas vias neuronais, causando distorção das percepções.	<b>Maconha</b> <b>Ácido lisérgico (LSD)</b> <b>Ecstasy</b>

Veja no Manual a descrição desses efeitos. No livro do aluno, a opção foi enfocar discussões preventivas.

Por que o consumo de drogas é tão comum em nossa sociedade? Como as drogas alteram as sensações e a percepção do mundo que nos rodeia, talvez uma pessoa sinta que consumindo essas substâncias, seus problemas estarão momentaneamente resolvidos. Mas será que estarão resolvidos mesmo?

Se pesquisarmos a respeito da história da humanidade, vamos descobrir que o uso de substâncias psicoativas é muito antigo, para os mais diversos fins, mas isso não significa que esse comportamento deva ser perpetuado nos dias de hoje. Em séculos passados as pessoas também não tinham medicamentos, informações científicas e, para a maioria, não havia liberdade,

em consequência da escravidão, servidão e das constantes guerras. Mas certas coisas devem ficar em seu lugar na história: no passado.

O uso de drogas causa dependência química, ou seja, a pessoa passa a desejar doses cada vez maiores da substância, sem que consiga controlar esse desejo. Surgem vários problemas de saúde, além de uma série de problemas sociais, como casos de violência e acidentes.

Fica então a proposta: trilhe seus caminhos de forma consciente e não viva os seus dias esperando a dose que parece suavizar o sofrimento. Aproveite sua liberdade em poder escolher seu caminho!

Fonte: Observatório Brasileiro de Informações sobre Drogas (OBID).  
Disponível em: <<http://obid.senad.gov.br/obid>>.  
Acesso em: 11 mar. 2016.

## DEPOIS DA LEITURA...

Reúna-se com um grupo de colegas e conversem a respeito do consumo de drogas por jovens, na comunidade onde vocês moram. Que ações preventivas poderiam ser eficientes para reduzir o consumo, caso ele seja elevado na região? Que medidas de redução de danos são necessárias para atender os usuários? Procurem referências, como livros e sites, para embasar suas opiniões.

- Que tal utilizar as informações para elaborar uma peça de teatro? Vocês podem pedir orientação ao professor de Arte e apresentar a peça na escola.

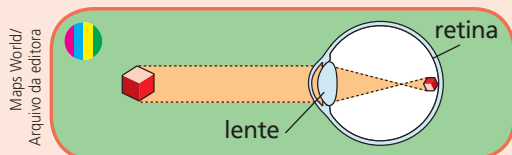
Veja no Manual subsídios para desenvolver atividades preventivas ao uso de drogas.



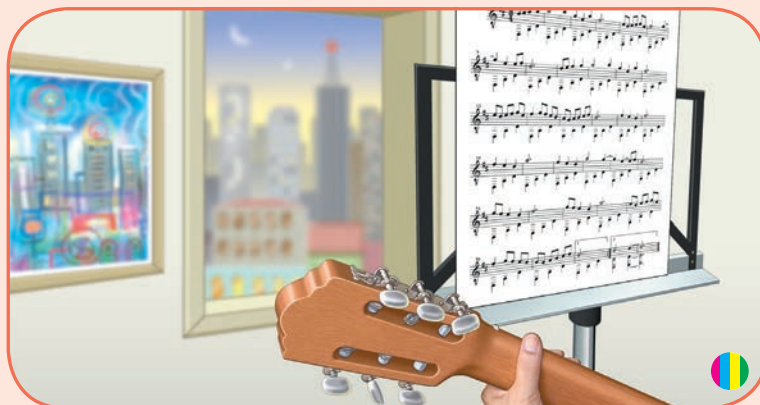
## 2 Miopia, hipermetropia e astigmatismo

Pequenas alterações em estruturas do olho podem comprometer a acomodação visual, gerando problemas na formação de imagens. A correção de quaisquer problemas na visão deve ser sempre orientada por médico oftalmologista. Três problemas muito comuns são a **miopia**, a **hipermetropia** e o **astigmatismo**.

**MIOPIA** – Pessoas míopes apresentam dificuldade em focalizar objetos distantes. Seus olhos (globos oculares) podem apresentar curvatura exagerada da córnea ou podem ser mais “alongados” que o normal. Consequentemente, a imagem focalizada se formaria “antes” de chegar à retina. A miopia é facilmente corrigida com o uso de lentes que possuem a região central mais fina que as extremidades (lentes divergentes) e, em alguns casos, com uma cirurgia que utiliza *laser* para alterar a curvatura da córnea.

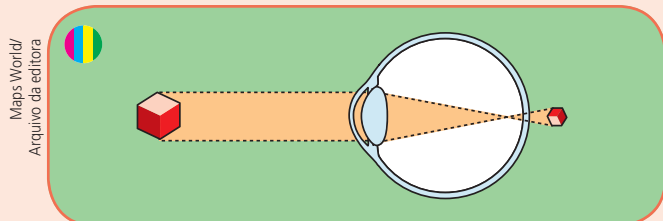


Olho normal: a imagem se forma na retina.

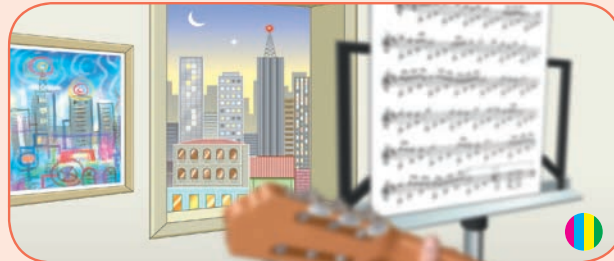


Miopia: dificuldade em focalizar objetos distantes.

**HIPERMETROPIA** – Neste caso, os globos oculares apresentam curvatura diminuída da córnea ou são levemente “achatados”, de maneira que a retina fica mais próxima da pupila que o normal. Consequentemente, a imagem focalizada se formaria “depois” da retina. A pessoa com hipermetropia não enxerga com nitidez objetos próximos. Isso pode ser corrigido com o uso de lentes que possuem a região central mais grossa que as extremidades (lentes convergentes) e, em alguns casos, com cirurgia a *laser*, que corrige a curvatura da córnea.



Olho hipermetrope: a imagem focalizada se formaria atrás da retina.



Hipermetropia: dificuldade em focalizar objetos próximos.

**ASTIGMATISMO** – A visão se torna “embaçada”, com nitidez prejudicada para imagens a qualquer distância. O problema é causado por pequenas deformações da córnea. As lentes utilizadas na correção do astigmatismo são assimétricas, para compensar as irregularidades da superfície da córnea.

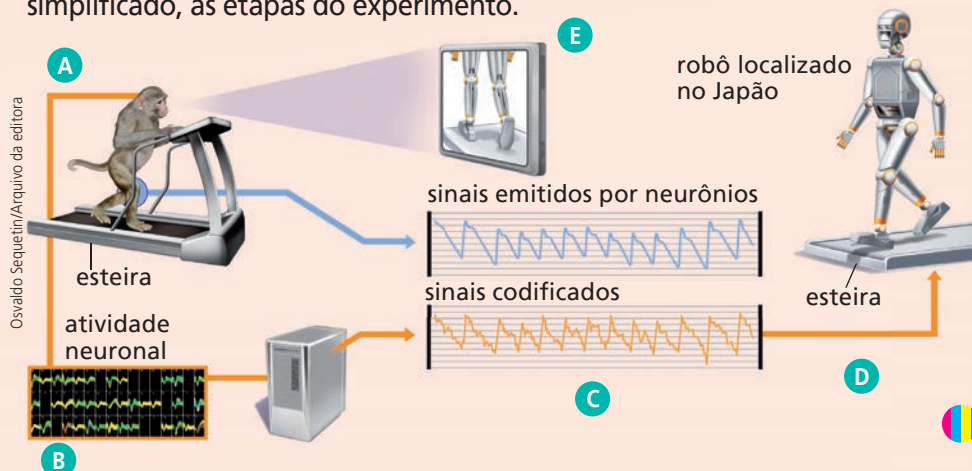
### DEPOIS DA LEITURA...

Busque mais informações a respeito das lentes e explique por que a miopia pode ser corrigida com o uso de lentes divergentes, enquanto a hipermetropia pode ser corrigida com o uso de lentes convergentes.

Consulte o Manual.

### 3 Próteses comandadas pelo cérebro

Em 2008, uma pequena macaca fez com que um robô de mais de 2 metros de altura andasse sobre uma esteira rolante, usando apenas a atividade de seu cérebro. Um detalhe importante: a macaca estava em um laboratório de neurociências localizado nos Estados Unidos, enquanto o robô estava em um laboratório de robótica no Japão. Veja no esquema a seguir, de modo simplificado, as etapas do experimento.



- A** A macaca foi treinada, com o ganho de guloseimas, a andar sobre uma esteira.
- B** Eletrodos implantados no encéfalo da macaca captaram a atividade de cerca de 300 neurônios.
- C** Os sinais elétricos emitidos pelos neurônios foram codificados, com cerca de 90% de precisão.
- D** Esse código foi transmitido dos EUA ao Japão, via internet. Os sinais elétricos codificados fizeram o robô andar sobre uma esteira.
- E** A macaca assistiu ao vídeo do robô andando e ganhou recompensas pelo feito.

As figuras estão representadas em diferentes escalas.

O experimento foi coordenado pelo pesquisador brasileiro Miguel Nicolelis, que trabalha em uma universidade norte-americana. Depois de uma hora, os cientistas pararam a esteira rolante sobre a qual a macaca estava caminhando. Eles observaram que os olhos dela continuaram fixos nas pernas do robô, mostrado em uma tela de vídeo. Para surpresa de todos, o robô continuou andando sobre a esteira, lá no Japão, por mais três minutos.

Os cientistas concluíram que, enquanto a macaca estava andando, um grupo de neurônios controlava o movimento de suas pernas e outro grupo controlava o movimento das pernas do robô. Esse último grupo de neurônios permaneceu ativo no cérebro da macaca, mesmo depois que ela parou de andar, estimulado pela imagem do robô na tela.

Miguel Nicolelis afirma que experimentos como esse são os passos fundamentais para o desenvolvimento de próteses capazes de terem

seu funcionamento comandado pelo cérebro do usuário. Como os pensamentos são uma função cerebral, gerada por impulsos nervosos, eletrodos instalados no encéfalo da pessoa transmitiriam sinais elétricos para um aparelho receptor portátil, que então estimularia as funções da prótese, colocada sobre o membro paralisado como um "exoesqueleto". Nicolelis explica que, para acionar os movimentos da prótese, bastaria a pessoa com paralisia pensar em andar.

As pesquisas têm mostrado resultados animadores. Na abertura da Copa do Mundo de 2014, realizada no Brasil, um jovem paraplégico deu um simbólico chute inicial na bola, usando o equipamento conhecido como exoesqueleto. Foi um movimento rápido, mas muito importante, pois indicou as possibilidades trazidas por pesquisas como a que descrevemos aqui.

Saiba mais em: PORTAL EBC. Disponível em: <<http://www.ebc.com.br/esportes/copa-do-mundo/2014/06/paraplegico-anda-na-abertura-da-copa-entenda-como>>. Acesso em: 10 mar. 2016.

### DEPOIS DA LEITURA...

Reúna-se com um colega e busquem informações recentes a respeito de uma pesquisa em neurociências com resultados promissores e benéficos à população. *Resposta pessoal.*

Outra fonte consultada (em inglês): BLAKESLEE, S. Monkey's Thoughts Propel Robot, a Step That May Help Humans. *The New York Times* - versão digital. 15 jan. 2008. Disponível em: <[http://www.nytimes.com/2008/01/15/science/15robo.html?pagewanted=all&\\_r=0](http://www.nytimes.com/2008/01/15/science/15robo.html?pagewanted=all&_r=0)>. Acesso em: 13 fev. 2016.

2. b) A pupila se dilata quando o olho está exposto a um ambiente escuro e seu diâmetro diminui quando o olho está exposto à claridade.

## Revedo e aplicando conceitos

1. Não. O cérebro é uma das regiões do encéfalo, formado também por cerebelo, tálamo, hipotálamo, medula oblonga (bulbo) e ponte.

1. Encéfalo e cérebro são palavras sinônimas? Justifique sua resposta.

2. Considerando as divisões simpática e parassimpática do sistema nervoso, faça o que se pede:

2. a) Consulte o Manual.

a. Elabore uma tabela mostrando os efeitos de cada divisão no funcionamento de 5 órgãos do corpo.

b. Descreva as reações normais da pupila quando estamos em ambientes escuros e claros.

c. Quando uma pessoa leva um susto, suas pupilas se dilatam, mesmo estando em um ambiente sombreado. Explique a atuação da parte autônoma do sistema nervoso nessa reação.

2. c) Nervos simpáticos promovem dilatação da pupila.

3. Por que a pele da palma da mão é mais sensível ao toque do que a pele de uma região das costas, por exemplo?

3. Porque possuem maior quantidade de receptores do tato por unidade de área.

4. Na página 50, abordamos a miopia, a hipermetropia e o astigmatismo. Existem outros problemas relacionados à visão, como a presbiopia (popularmente conhecida como "vista cansada"), a cegueira noturna, a catarata e a cegueira. Escolha duas das condições mencionadas e busque informações a respeito, consultando livros, revistas de divulgação científica e outras publicações. Elabore um resumo das informações, contendo os tópicos:

- características da condição;
- causas;
- possíveis tratamentos;
- fontes consultadas.

5. O tímpano pode ser atingido e perfurado, afetando a audição e expondo a orelha média a infecções.

5. Os médicos recomendam que não sejam introduzidos quaisquer objetos na orelha. A limpeza deve ser feita delicadamente apenas no pavilhão auricular e não se deve pingar qualquer tipo de líquido no meato acústico externo sem orientação médica. Justifique esses cuidados, analisando a estrutura da orelha.

6. O reflexo patelar pode ser observado pelos médicos através de um leve toque com um instrumento semelhante a um pequeno martelo em uma região do joelho do paciente, estando este sentado, com as pernas relaxadas. Ao atingir a região onde fica um nervo, a perna do paciente involuntariamente se levanta, em um ato reflexo.

a. Explique o mecanismo nervoso do ato reflexo.

6. b) Não há participação do cérebro.

b. Por que os atos reflexos são inconscientes (só tomamos consciência após seu acontecimento)?

6. a) As fibras sensoriais são estimuladas e transmitem impulsos nervosos à medula espinhal, que responde transmitindo impulsos às fibras motoras, que inervam os músculos.

7. A medula espinhal, de onde partem os nervos que conduzem impulsos nervosos para os músculos, pode ser atingida, o que pode interromper a transmissão de impulsos do cérebro para a musculatura.

7. Muitos acidentes podem ter consequências graves, como paralisia dos membros, se houver uma lesão em uma ou mais vértebras. Explique por que uma lesão na coluna vertebral pode afetar a capacidade de movimentar voluntariamente os membros.

8. Qual é a relação entre os sentidos e o sistema nervoso? Em sua resposta, utilize um dos sentidos estudados no capítulo como exemplo dessa relação.

## Trabalhando com gráficos

9. O álcool é uma substância que age na parte central do sistema nervoso. A seguir, estão listados alguns efeitos dessa substância no ato de dirigir, que são percebidos mesmo com baixos teores no organismo:

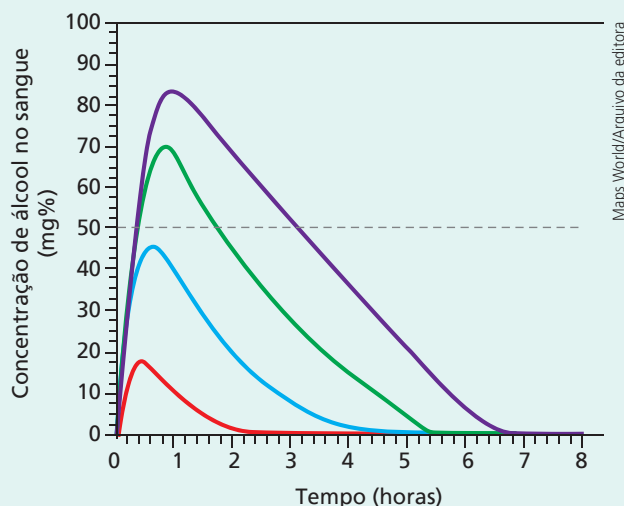
- os contornos dos objetos perdem a nitidez;
- o campo de visão diminui;
- a capacidade de analisar distâncias e velocidades diminui;
- o tempo de reação e os reflexos se tornam mais lentos.

Sabendo disso, responda:

9. a) Cerebelo: afeta a capacidade de analisar distâncias e velocidade; cérebro: perda de nitidez e redução do campo visual.

a. Baseando-se nos efeitos descritos acima, cite duas estruturas ou regiões da parte central do sistema nervoso que têm suas funções alteradas pelo álcool. Justifique sua resposta.

b. (Questão adaptada do Enem-2009) O gráfico a seguir está relacionado ao tema do consumo de álcool; considere que o resultado refere-se a um mesmo indivíduo, o que significa que as variáveis sexo, idade e peso foram mantidas fixas durante as medições.



Disponível em: <<http://www.alcoologia.net>>. Acesso em: 15 jul. 2009 (adaptado).

8. As células sensoriais recebem os estímulos, que, através de nervos, são transmitidos ao cérebro, que os transforma em sensação. Exemplo: receptores do olfato → nervo olfatório → cérebro → sensação do cheiro.



9. c) O indivíduo consome determinada quantidade de álcool. É possível detectar um padrão, que é discutido no Manual.

Escolha, dentre as alternativas seguintes, o melhor título para o gráfico, justificando sua resposta:

- I. Concentração média de álcool no sangue ao longo do dia.
- II. Concentração mínima de álcool no sangue a partir de diferentes dosagens.
- III. Estimativa de tempo necessário para metabolizar diferentes quantidades de álcool.

9. b) Título III. Veja comentários no Manual.

c. Analisando o gráfico, o que ocorre no tempo 0 (zero)? É possível detectar um padrão nas curvas obtidas no gráfico? Que padrão é esse?

d. A partir de 19 de junho de 2008, entrou em vigor no Brasil novo texto da “lei seca” (Lei Federal 11.705), determinando as punições para motoristas que dirigem depois de beber. Um único copo de bebida, para qualquer organismo, pode ser suficiente para ultrapassar o limite legal. Por que não se deve dirigir após consumir álcool? 9. d) O álcool afeta as funções cerebrais, impedindo dirigir com segurança. Veja mais comentários no Manual.

## Ciência, Tecnologia e Sociedade

10. Imagine a seguinte situação: em um acidente de trabalho, um operário foi atingido na cabeça por um objeto utilizado na construção, o que causou problemas na fala deste operário. Os médicos explicaram à família dele que os problemas estavam relacionados às áreas do cérebro afetadas no momento do acidente.

10. a) O cérebro possui regiões especializadas.

a. Explique por que é possível sugerir qual região do cérebro foi afetada pela análise dos sintomas apresentados pelo paciente.

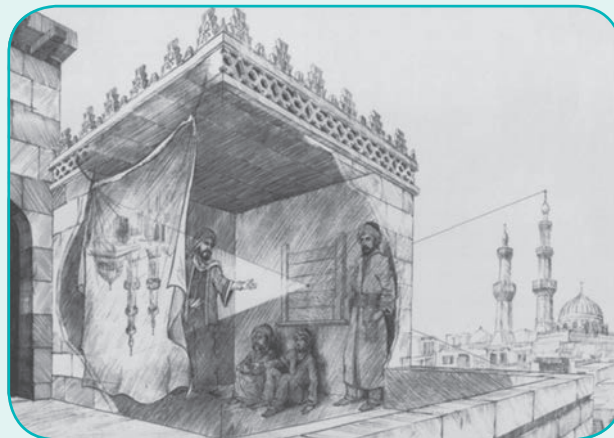
b. Converse com seus colegas a respeito de segurança no ambiente de trabalho. Em que profissões os cuidados e equipamentos de segurança devem ser constantemente utilizados? Qual a importância de equipamentos como o capacete? Qual o papel do empregador na segurança dos trabalhadores? Discuta essas questões e produza um texto sobre o assunto, em seu caderno.

10. b) Resposta pessoal. Veja subsídios no Manual.

## Questões do Enem e de vestibulares

11. (Enem-2015) Entre os anos de 1028 e 1038, Alhazen (ibn al-Haytham 965-1040 d.C.) escreveu sua principal obra, o *Livro da Óptica*, que, com base em experimentos, explicava o exemplo, o funcionamento da câmara escura. O livro foi traduzido e incorporado aos conhecimentos científicos ocidentais pelos

europeus. Na figura, retirada dessa obra, é representada a imagem invertida de edificações em um tecido utilizado como anteparo.



Reprodução

ZEWAIL, A. H. Micrographia of twenty-first century: from camera obscure to 4D microscopy. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, v. 368, 2010 (adaptado).

Se fizermos uma analogia entre a ilustração e o olho humano, o tecido corresponde ao(à)

- a. íris.
- b. retina 11. b
- c. pupila.
- d. córnea.
- e. cristalino

12. (Enem-2010) *Diversos comportamentos e funções fisiológicas do nosso corpo são periódicos; sendo assim, são classificados como ritmo biológico. Quando o ritmo biológico responde a um período aproximado de 24 horas, ele é denominado ritmo circadiano. Esse ritmo diário é mantido pelas pistas ambientais de claro-escuro e determina comportamentos como o ciclo do sono-vigília e o da alimentação. Uma pessoa, em condições normais, acorda às 8 h e vai dormir às 21 h, mantendo seu ciclo de sono dentro do ritmo dia e noite. Imagine que essa mesma pessoa tenha sido mantida numa sala totalmente escura por mais de quinze dias. Ao sair de lá, ela dormia às 18 h e acordava às 3 h da manhã. Além disso, dormia mais vezes durante o dia, por curtos períodos de tempo, e havia perdido a noção da contagem dos dias, pois, quando saiu, achou que havia passado muito mais tempo no escuro.*

BRANDÃO, M. L. *Psicofisiologia*. São Paulo: Atheneu, 2000 (adaptado).

Em função das características observadas, conclui-se que a pessoa:

- a. apresentou aumento do seu período de sono contínuo e passou a dormir durante o dia, pois seu ritmo biológico foi alterado apenas no período noturno.

**b.** apresentou pouca alteração do seu ritmo circadiano, sendo que sua noção de tempo foi alterada somente pela sua falta de atenção à passagem do tempo.

**c.** estava com seu ritmo já alterado antes de entrar na sala, o que significa que apenas progrediu para um estado mais avançado de perda do ritmo biológico no escuro.

12. **d.** teve seu ritmo biológico alterado devido à ausência de luz e de contato com o mundo externo, no qual a noção de tempo de um dia é modulada pela presença ou ausência do sol.

**e.** deveria não ter apresentado nenhuma mudança do seu período de sono porque, na realidade, continua com o seu ritmo normal, independentemente do ambiente em que seja colocada.

13. (Enem-2009) Sabe-se que o olho humano não consegue diferenciar componentes de cores e vê apenas a cor resultante, diferentemente do ouvido, que consegue distinguir, por exemplo, dois instrumentos diferentes tocados simultaneamente. Os raios luminosos do espectro visível, que têm comprimento de onda entre 380 nm e 780 nm, incidem na córnea, passam pelo cristalino e são projetados na retina. Na retina, encontram-se dois tipos de fotorreceptores, os cones e os bastonetes, que convertem a cor e a intensidade da luz recebida em impulsos nervosos. Os cones distinguem as cores primárias; vermelho, verde e azul, e os bastonetes diferenciam apenas níveis de intensidade, sem separar comprimentos de onda. Os impulsos nervosos produzidos são enviados ao cérebro por meio do nervo óptico, para que se dê a percepção da imagem. Um indivíduo que, por alguma deficiência, não consegue captar as informações transmitidas pelos cones, perceberá um objeto branco, iluminado apenas por luz vermelha, como

**a.** um objeto indefinido, pois as células que captam a luz estão inativas.

**b.** um objeto rosa, pois haverá mistura da luz vermelha com o branco do objeto.

**c.** um objeto verde, pois o olho não consegue diferenciar componentes de cores.

**d.** um objeto cinza, pois os bastonetes captam luminosidade, porém não diferenciam cor.

13. **d.** **e.** um objeto vermelho, pois a retina capta a luz refletida pelo objeto, transformando-a em vermelho.

14. (Unicamp-SP) “Os ouvidos não têm pálpebras.” A frase do poeta e escritor Décio Pignatari mostra que não podemos nos proteger dos sons desconfortáveis fechando os ouvidos como fazemos naturalmente com os olhos. O ruído excessivo, que atinge o auge em concertos de rock, causa problemas auditivos. Nesses concertos, cerca de 120 decibéis são transmitidos durante mais de duas horas seguidas, quando, de acordo com recomendações médicas, deveriam ser limitados a 3 minutos e 45 segundos. Quem ouve música alta, em fones de ouvido, também está sujeito a danos graves e irreversíveis, já que, uma vez lesadas, as células do ouvido não se regeneram.

(Adaptado de Época, 10 de ago. de 1998).

**a.** O ouvido é constituído por três partes. Quais são essas partes? Em qual delas estão as células lesadas pelo excesso de ruído? 14. a) Orelha externa, orelha

média e orelha interna. Nesta última ficam as células lesadas pelo ruído excessivo.

**b.** Indique a função de cada uma das três partes na audição. 14. b) Consulte o Manual.

15. (UFG-GO) Os cheiros remetem os indivíduos ao passado, aguçam a fome, ativam o prazer pelo ato de comer e alertam os seres vivos acerca de perigos.

15. a) Consulte o Manual.

**a.** Explique a interpretação desses estímulos pelo organismo. Cite um exemplo.

**b.** Explique por que a captação desses estímulos é um mecanismo de garantia da perpetuação da espécie entre os animais. 15. b) Evita a ingestão de alimentos apodrecidos, substâncias tóxicas etc.

16. (Unifesp) A tabela mostra os efeitos da ação de dois importantes componentes do sistema nervoso humano. 16. a) X: divisão parassimpática; Y: divisão simpática.

X	Y
Contração da pupila	Dilatação da pupila
Estímulo da salivação	Inibição da salivação
Estímulo do estômago e dos intestinos	Inibição do estômago e intestinos
Contração da bexiga urinária	Relaxamento da bexiga urinária
Estímulo à ereção do pênis	Promoção da ejaculação

**a.** A que correspondem X e Y?

16. b) Simpática. Contração dos brônquios.

**b.** Em uma situação de emergência, como a fuga de um assalto, por exemplo, qual deles será ativado de maneira mais imediata? Forneça um outro exemplo, diferente dos da tabela, da ação desse componente do sistema nervoso.

# Digestão e nutrição

COMENTÁRIOS  
GERAISREFLEXÕES  
SOBRE O ENSINO  
DE BIOLOGIA

## 1 Digestão

Os animais obtêm materiais e fontes de energia para suas células por meio dos alimentos. Até que esses materiais estejam disponíveis às células, eles precisam ser ingeridos, digeridos e absorvidos, processos que envolvem vários órgãos do **sistema digestório**. Após a **digestão**, os nutrientes são absorvidos e os materiais não digeridos são eliminados do organismo como fezes. O esquema a seguir resume essas etapas de processamento do alimento orgânico pelo sistema digestório.

As etapas do aproveitamento do alimento, esquematizadas ao lado, também ocorrem no corpo humano e este será o tema deste capítulo.

Mas do que é composto o alimento? O que significa dizer que o alimento é fonte de energia e materiais para o corpo?

Imagine um prato com arroz, feijão, bife, ovo e salada. Veja os principais nutrientes desses alimentos:

- ▶ arroz – carboidrato (amido);
- ▶ feijão – carboidrato (amido) e proteínas;
- ▶ bife de boi e ovo – proteínas e gorduras;
- ▶ salada – sais minerais, vitaminas e carboidratos.

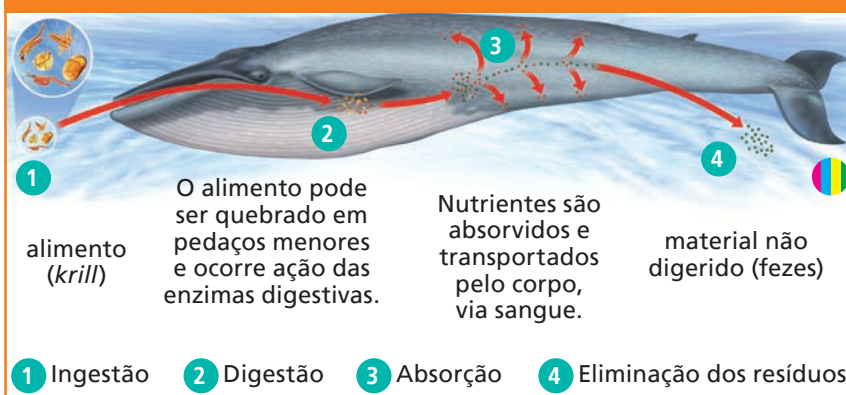
Os carboidratos mais complexos (polissacarídeos), as proteínas e os lipídios são **macromoléculas** formadas a partir da união de moléculas menores. Uma proteína é constituída por uma sequência de aminoácidos; os polissacarídeos, como o amido, são carboidratos formados pela união de monossacarídeos como a glicose; os lipídios são constituídos de ácidos graxos e glicerol.

A maioria dos alimentos apresenta também ácidos nucleicos (DNA e RNA), que provêm das células do organismo que está servindo como alimento, e são formados por sequências de nucleotídeos.

Esses compostos orgânicos passam por processos de quebra. Macromoléculas, devido às suas dimensões, não poderiam atravessar as membranas das células e atingir seu interior. Além disso, o organismo utiliza os produtos da quebra das macromoléculas – aminoácidos, monossacarídeos, nucleotídeos e ácidos graxos – na síntese de seus próprios materiais.

✓ Esquema mostrando as **principais etapas** realizadas pelo sistema digestório de animais vertebrados, como a baleia. As mesmas etapas ocorrem no corpo humano.

### Etapas do processamento de alimento no sistema digestório



Osvaldo Sequetin/Arquivo da editora

As figuras estão representadas em diferentes escalas.



Priscila Padeiro/Pensa Três

^ Refeição contendo **alimentos** comumente consumidos pelos brasileiros.



**ATENÇÃO**

As **enzimas** – ou grupos de enzimas – geralmente recebem nomes relacionados aos substratos nos quais elas atuam. Lipases, por exemplo, são enzimas que atuam em lipídios; nucleases têm como substrato os ácidos nucleicos. Nem todos os nomes de enzimas, no entanto, terminam com o sufixo **-ase**.

**Macromoléculas orgânicas e suas unidades**

Macromolécula	Unidades (monômeros)
Carboidrato na forma de polissacarídeo (ex.: amido) →	Monossacarídeo (ex.: glicose e frutose)
Proteína →	Aminoácidos
Lípido (ex.: óleos) →	Ácidos graxos e glicerol
Ácidos nucleicos →	Nucleotídeos

As proteínas presentes no feijão, por exemplo, são diferentes das proteínas humanas, mas todas as proteínas são formadas por aminoácidos, os quais podem ser de vinte tipos diferentes. A quebra ou digestão das proteínas do feijão fornece às células humanas os aminoácidos para a síntese de suas próprias proteínas.

Os sais minerais e as vitaminas são materiais de dimensões pequenas o suficiente para absorção direta, não necessitando de digestão.

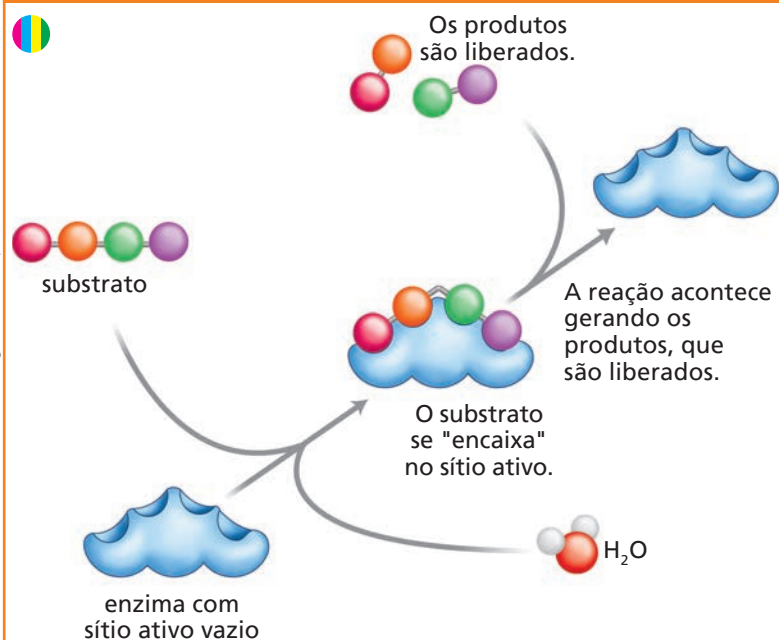
A quebra ou digestão das macromoléculas presentes nos alimentos ocorre graças às **enzimas digestivas** que são produzidas no sistema digestório e seus órgãos anexos.

**1.1 O que são enzimas?**

As **enzimas** são proteínas que têm a propriedade de acelerar reações químicas. As reações químicas geralmente necessitam de energia de ativação, para que sejam desencadeadas. No caso das reações biológicas, elas não são espontâneas,

podem ser muito lentas e a energia de ativação necessária é muito grande. As enzimas atuam diminuindo a energia de ativação e fazem com que as reações químicas ocorram mais rapidamente e de forma controlada. Devido a essas propriedades, as enzimas são classificadas como **catalisadores** de reações químicas.

As enzimas são proteínas com formato globular. Uma determinada região da enzima, chamada **sítio ativo**, possui forma espacial capaz de se encaixar nos substratos, ou seja, nas substâncias que irão reagir. A enzima está para o substrato assim como uma chave está para uma fechadura, ou seja, a forma de uma enzima permite o encaixe em apenas um tipo de substrato. Após o encaixe dos substratos no sítio ativo da enzima e o término da reação, o produto é liberado, a enzima permanece quimicamente inalterada e pode receber novas moléculas do mesmo substrato.

**Enzima e substrato**

Esquema explicando a **ação de uma enzima** hipotética, que catalisa a hidrólise da molécula de substrato.

Carboidratos, lipídios e proteínas são quebrados em moléculas menores em reações de **hidrólise**, em que moléculas de água reagem com a macromolécula, promovendo sua quebra. As enzimas digestivas aceleram as reações de hidrólise, pois reúnem o substrato específico à água.

## Fatores que influenciam a atividade das enzimas

Entre os fatores que alteram a atividade de uma enzima, vamos conhecer dois deles: o pH e a temperatura do meio onde a enzima está.

**1) pH** – O pH (potencial Hidrogeniônico) é uma medida indicadora do grau de acidez ou de alcalinidade (basicidade) de uma substância. A escala de valores de pH varia de 0 a 14. Substâncias neutras, como a água, possuem pH 7; as ácidas têm pH abaixo de 7 e as básicas, pH acima de 7.

Cada enzima possui um valor de pH onde ela atua melhor; existem enzimas que se tornam ativas apenas em meio ácido, enquanto outras necessitam de uma solução levemente básica para realizar sua função. A maioria das enzimas, entretanto, é mais eficiente quando em solução de pH neutro.

A medida de pH na qual uma enzima torna-se mais eficiente é chamada de **pH ótimo**. Observe no gráfico ao lado a atuação de uma enzima do corpo humano, a pepsina, exposta a diferentes condições de pH. Essa enzima atua no estômago, em meio muito ácido, sendo que seu pH ótimo é em torno de 2.

**2) Temperatura** – As enzimas dependem de sua forma espacial para o encaixe entre seu sítio ativo e o substrato específico. Altas temperaturas destroem as ligações químicas que mantêm o formato da enzima e ela perde sua função. Todas as proteínas, não apenas as enzimas, perdem sua estrutura espacial quando expostas ao calor excessivo, processo esse chamado **desnaturação**. Alterações no pH também podem provocar desnaturação das enzimas.

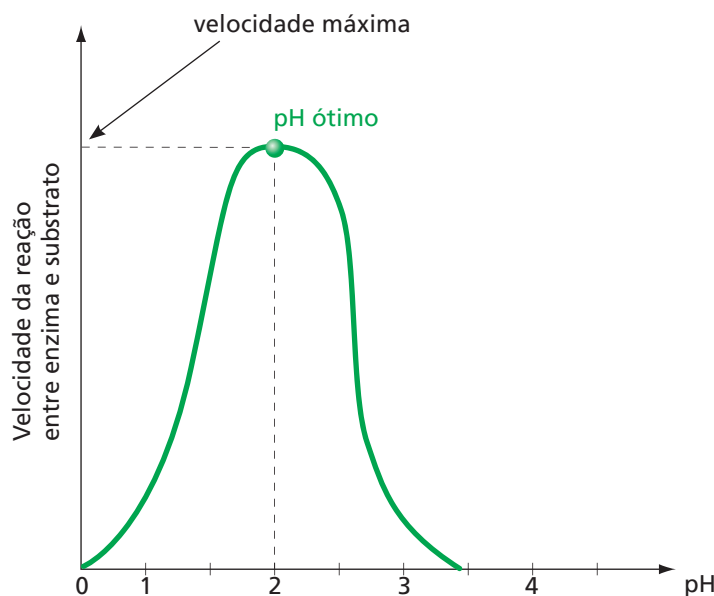
Cada enzima possui um grau de tolerância específico a temperaturas altas ou baixas, apresentando uma temperatura ótima, na qual sua atividade se torna mais intensa. Para as enzimas do corpo humano, a temperatura ótima é cerca de 37 °C, conforme você pode observar no gráfico ao lado.



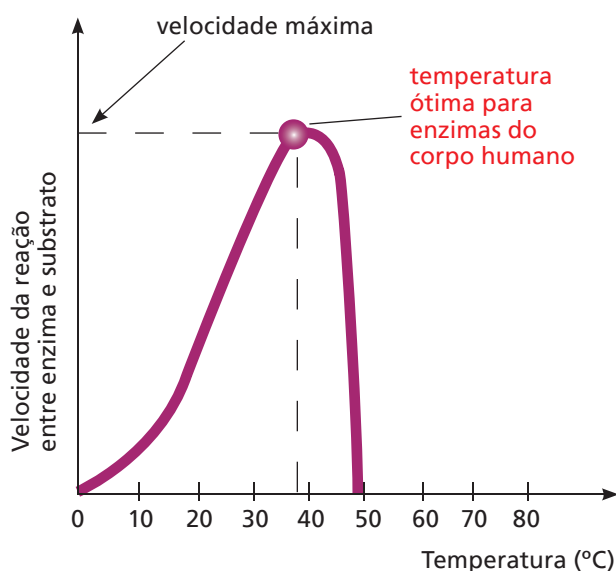
### PENSE E RESPONDA

Consulte o glossário etimológico e escreva em seu caderno o significado de **hidrólise**.

#### Gráfico do efeito do pH sobre a velocidade da reação catalisada pela enzima pepsina



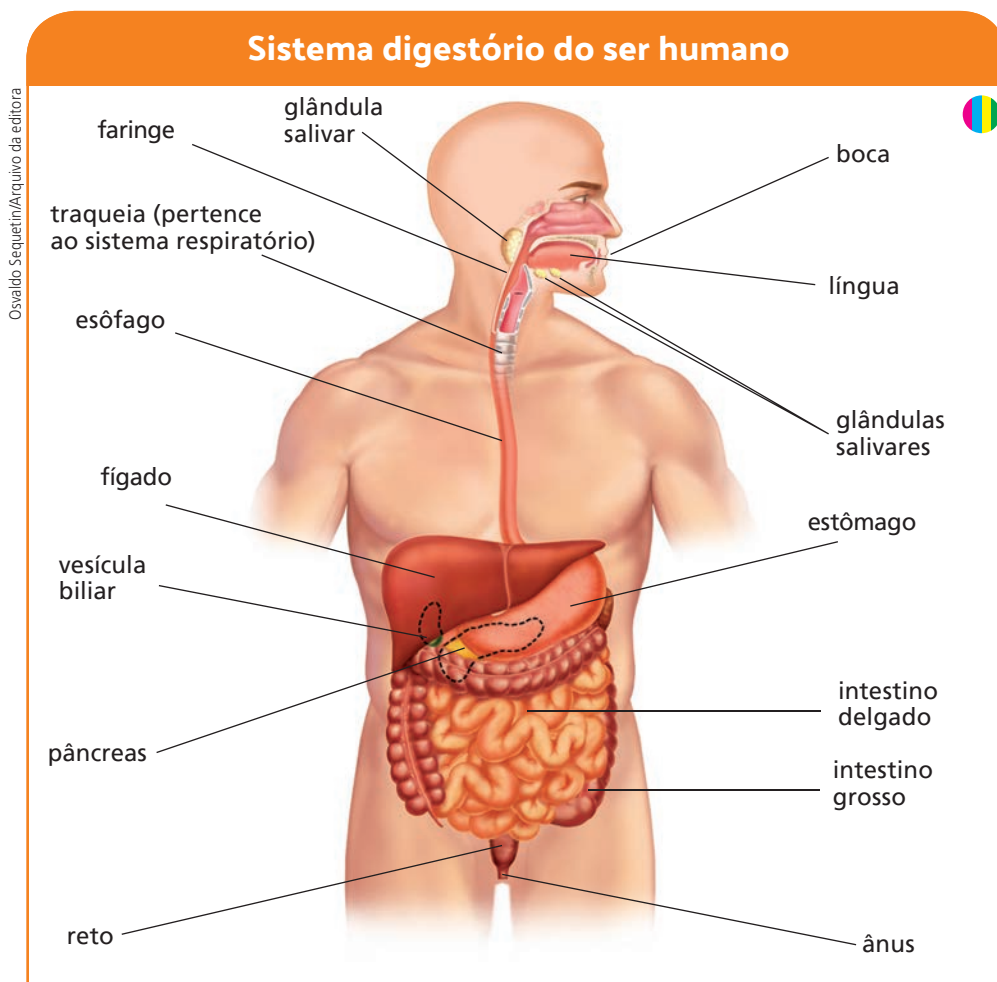
#### Gráfico do efeito da temperatura sobre a velocidade da reação de uma enzima digestiva humana



Fonte dos gráficos: CAMPBELL, N. A.; REECE, J. *Campbell Biology*. 9. ed. EUA: Pearson Benjamin Cummings, 2011, p. 156.

## 2 Sistema digestório humano

Observe na figura abaixo os órgãos do sistema digestório humano e sua localização no corpo.



➤ Esquema ilustrando o **sistema digestório humano**. A boca e a faringe estão representadas em corte e em vista lateral. O esôfago localiza-se atrás da traqueia, que está parcialmente representada no esquema. Atenção aos órgãos indicados por linhas pontilhadas: o pâncreas localiza-se posteriormente ao estômago e a vesícula biliar, posteriormente ao fígado.

DIVULGAÇÃO PNLD



**REÚNA-SE COM OS COLEGAS**

Como o sistema digestório de uma cabra e o de uma raposa diferem do ser humano? Com sua equipe, escolha um mamífero para pesquisar a respeito de seus órgãos digestivos e adaptações relacionadas à sua alimentação. Façam um esquema destacando tais características e citem as fontes consultadas.

Veja informações no Manual.

O **sistema digestório** do ser humano é uma variação do mesmo sistema observado em outros mamíferos, apresentando adaptações ao nosso hábito alimentar, selecionadas ao longo da evolução de nossa espécie. Nota-se, porém, que, apesar das variações e diferenças, o sistema digestório dos mamíferos é um tubo, que se inicia na boca e termina no ânus.

O tubo digestório humano apresenta regiões especializadas em determinadas etapas do processo digestivo, que você pode observar na figura: boca, faringe, esôfago, estômago, intestino delgado, intestino grosso e ânus. Esse tubo é formado no embrião. Os epitélios da boca e do ânus originam-se da ectoderme, enquanto as demais estruturas têm origem a partir de células da endoderme.

Existem também as glândulas anexas, que produzem secreções essenciais para a digestão dos alimentos: glândulas salivares, pâncreas e fígado. As duas últimas são formadas a partir da endoderme, e as glândulas salivares são formadas a partir da ectoderme.

Considerando novamente o prato com arroz, feijão, salada, ovo e bife, vamos acompanhar o trajeto desses alimentos, desde sua ingestão na boca até a eliminação do material não digerido, através do ânus, analisando o que acontece nas diferentes regiões do sistema digestório humano.



## 2.1 Boca: ingestão e início da digestão do alimento

### Importância da mastigação

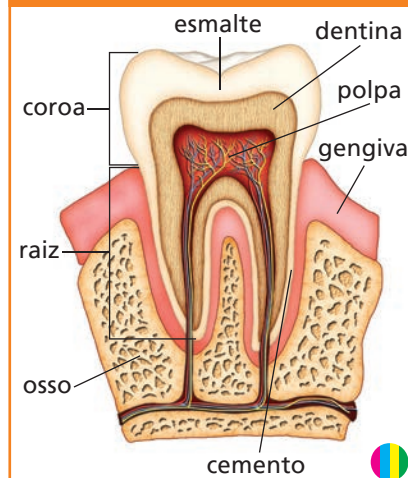
Imagine um cozinheiro que precisa fritar bolinhos no óleo quente. Se os bolinhos forem grandes, a porção interior da massa permanecerá crua após a fritura. Fazendo bolinhos menores, com a mesma quantidade de massa, a superfície total de contato do óleo com a massa será maior e os bolinhos ficarão fritos de maneira mais uniforme por dentro e por fora.

Comparando o óleo para fritar bolinhos com as enzimas digestivas, podemos fazer uma analogia com o processo de **mastigação**, que ocorre na boca: os dentes e a língua dividem os alimentos em pedaços menores e os trituram, transformando-os em um **bolo alimentar**. Assim, a superfície de contato do alimento com as enzimas fica aumentada, facilitando a digestão. O umedecimento do alimento, importante na formação do bolo alimentar, é feito pela saliva. Quando o bolo alimentar está formado, a língua o conduz à parte posterior da boca, ocorrendo a **deglutição**.

Os seres humanos possuem **dentes** de diferentes formatos. Os dentes incisivos cortam o alimento; os caninos são geralmente pontiagudos e conseguem rasgar pedaços de alimento; os dentes pré-molares e molares esmagam e trituram. A dentição permanente, que começa a surgir em torno dos 6 anos de idade, apresenta 32 dentes quando completa.

O esquema ao lado representa um dente em corte longitudinal, evidenciando sua estrutura. A parte visível é a coroa do dente e a parte inserida na gengiva, que fixa o dente ao osso da mandíbula ou do maxilar, é a raiz. Na coroa, a dentina é revestida pelo esmalte; na raiz, ela é revestida pelo cimento. Existe uma camada interna à dentina, a polpa, onde se localizam nervos e vasos sanguíneos.

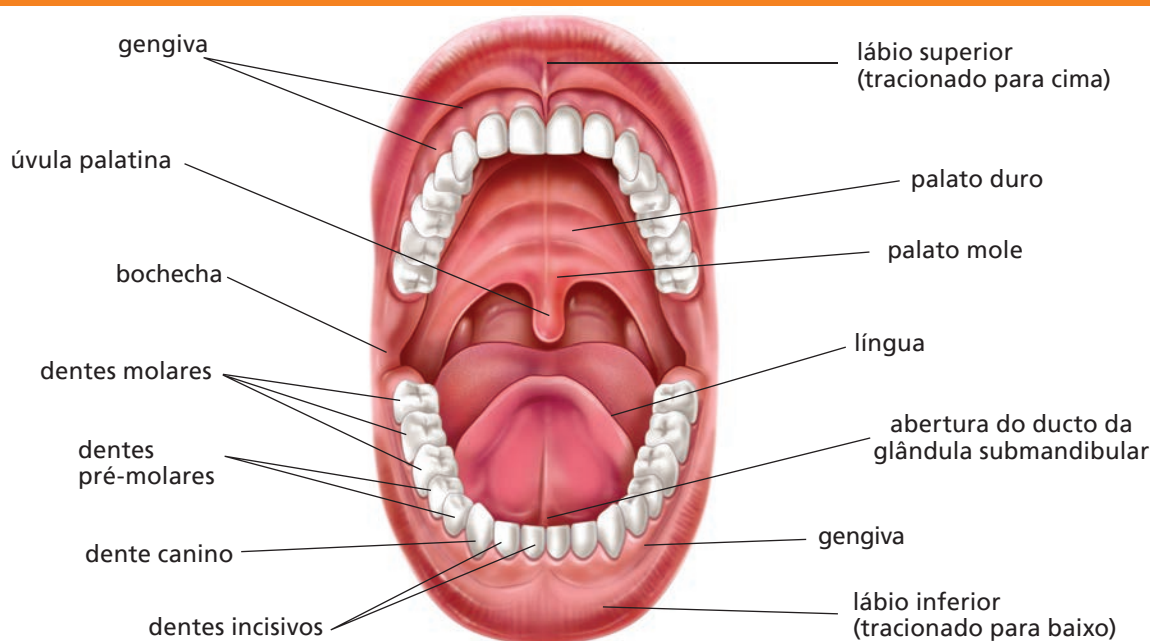
#### Estrutura interna do dente



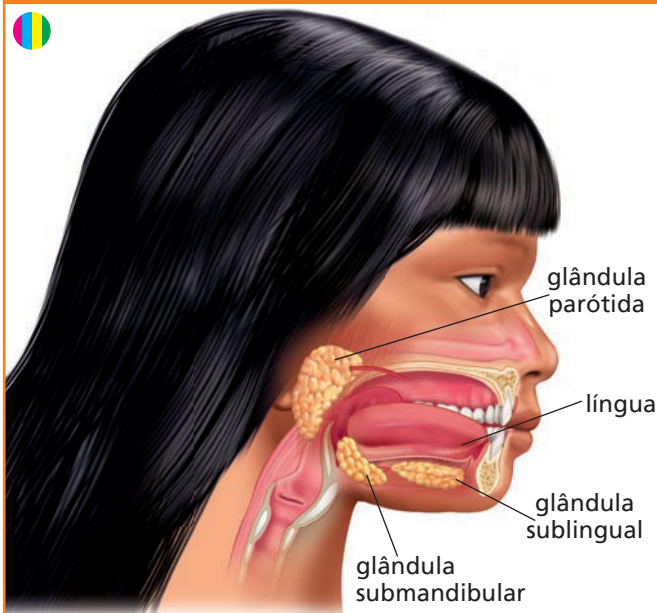
Esquema representando um corte longitudinal em um **dente** molar.

Esquema mostrando a estrutura interna da **boca**, com a ponta da língua levantada. Observe a **dentição permanente completa**.

#### Estrutura interna da boca



## Glândulas salivares



Osvaldo Sequetin/Arquivo da editora

Esquema ilustrando a localização das **glândulas salivares do ser humano**, em relação à língua. Essas glândulas são aos pares; como a cabeça está representada de perfil, apenas uma glândula de cada par foi ilustrada.

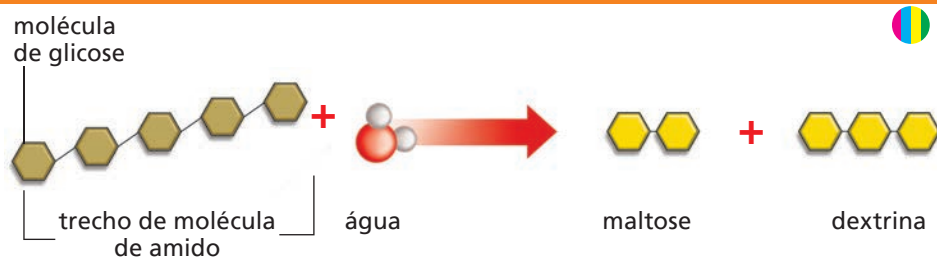
## Digestão do amido

A presença de alimento na cavidade bucal estimula a liberação de **saliva**, que contém a enzima **amilase salivar** ou **ptialina**, produzida pelas glândulas salivares. Como o próprio nome sugere, essa enzima atua na digestão do amido. Entre os alimentos que estamos usando como exemplo, o amido está presente em maior quantidade no arroz e no feijão.

O amido é constituído por moléculas de glicose unidas formando uma longa cadeia. O amido é parcialmente quebrado pela ptialina no dissacarídeo **maltose**, constituído por duas moléculas de glicose, e em **dextrinas**, formadas por três a quatro moléculas. O pH ótimo da amilase salivar é neutro, em torno de 7.

As proteínas e os lipídios não sofrem digestão na boca.

## Ação da amilase salivar



As figuras estão representadas em diferentes escalas.

Paulo César Pereira/Arquivo da editora



## PENSE E RESPONDA

Falar durante a mastigação e a deglutição do alimento pode levar ao engasgo. Geralmente, tossir resolve o problema; em alguns casos, porém, o engasgo pode sufocar e até causar a morte por asfixia.

- Relacione o engasgo ao mecanismo da deglutição.
- Liste alguns hábitos importantes para evitar engasgos.
- Vimos no capítulo anterior os efeitos do álcool no sistema nervoso. Explique por que pessoas que abusam do consumo de bebidas alcoólicas correm maior risco de engasgar.

## 2.2 Faringe e esôfago

A **faringe** é uma região anatômica que faz parte tanto do sistema respiratório quanto do digestório. Ela se localiza entre as cavidades nasais e a laringe, onde estão as pregas vocais e a entrada da traqueia que, por sua vez, se comunica com os brônquios e com os pulmões. Dessa forma, ocorre passagem de ar na faringe.

A faringe também se comunica com a boca e com a entrada do esôfago. Assim, a faringe participa da deglutição do bolo alimentar, direcionando-o ao esôfago e impedindo a entrada de alimento no sistema respiratório.

Os mecanismos envolvidos na deglutição são involuntários e complexos, sendo apresentados aqui de forma simplificada.

Durante a deglutição, a parte posterior das narinas é fechada por uma estrutura chamada **palato mole**, o que impede que alimentos ou líquidos entrem nas cavidades nasais. A seguir, a laringe se movimenta para cima e uma dobra de tecido conjuntivo, chamada **epiglote**, fecha sua entrada, protegendo as pregas vocais e impedindo a passagem de alimento para a traqueia.

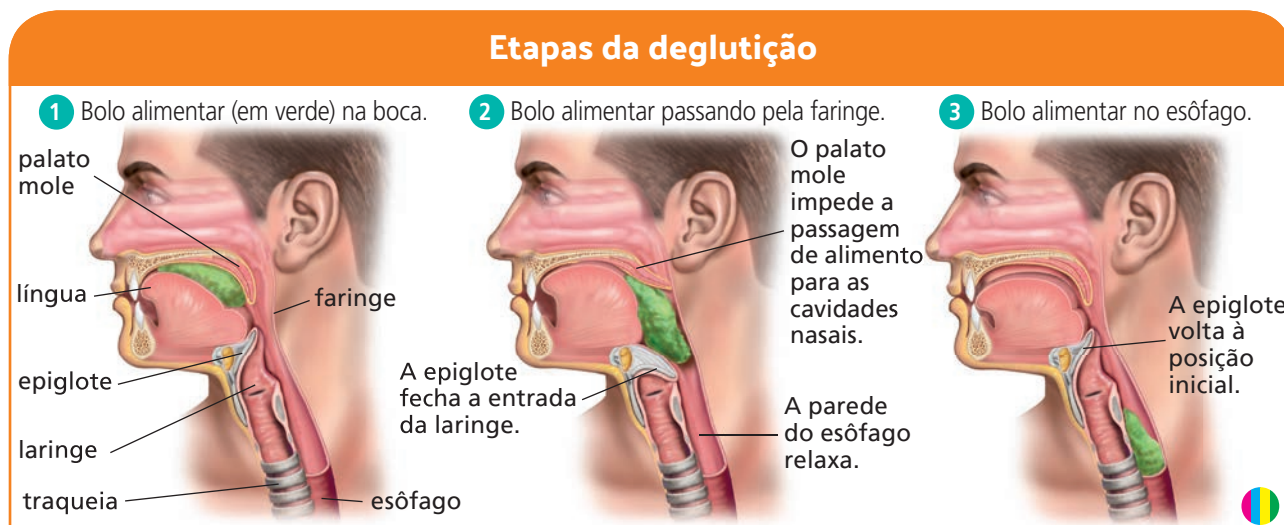
O **esôfago** é um tubo em cujas paredes existe musculatura lisa. Os músculos que delimitam a entrada do esôfago relaxam ao receber alimento, permitindo sua passagem. No intervalo entre as deglutições, essa região permanece fortemente contraída, evitando a entrada de ar no esôfago durante a respiração.

Consulte o Manual. O aluno poderá rever suas respostas ao prosseguir a leitura.

Com a entrada do alimento, as paredes musculares do esôfago passam a realizar contrações, formando ondas que empurram o bolo alimentar unicamente em direção ao estômago, em um movimento conhecido por **peristaltismo**.

Veja as etapas da deglutição na ilustração a seguir.

✓ Esquema ilustrando as **etapas da deglutição**. As estruturas foram representadas em corte e em vista lateral.



Oswaldo Sequetin/Arquivo da editora

### O perigo do engasgo

O **engasgo** ocorre quando o alimento entra no sistema respiratório, durante a deglutição. A tosse é um reflexo, ou seja, uma reação involuntária do organismo, que tenta expulsar as partículas de alimento. Se isso não acontecer, as vias por onde passa o ar ficam bloqueadas e a pessoa pode ter asfixia.

Existem manobras especiais para expulsar o alimento em caso de engasgo, mas recomenda-se que essas manobras sejam feitas por pessoas com treinamento adequado. Em casos menos graves, tossir e receber tapas nas costas, com a mão levemente curvada, pode ajudar. Um cuidado especial deve ser tomado com bebês, que podem engasgar com o leite. Os bebês não devem ser deitados logo após tomarem leite. Muitas pessoas idosas também podem ter problemas ao engolir alimentos e ter facilidade de engasgar. Em caso de engasgo em que o alimento ou líquido que está bloqueando a respiração não for logo eliminado, deve-se ligar para os bombeiros e seguir as orientações dadas.

Melhor do que saber o que fazer em caso de engasgo, é adotar atitudes que evitem esse problema. Comer sem pressa, mastigando bem e prestando atenção na comida são atitudes que não apenas favorecem a deglutição, como também permitem que você sinta mais o sabor dos alimentos. É preciso ainda evitar balas e chicletes, que podem causar engasgos graves, assim como ficar agitado e falar muito durante as refeições. Enquanto você fala, a epiglote se levanta, permitindo a passagem de ar; enquanto você engole comida, a epiglote fecha a passagem de ar. Se as duas coisas – falar e deglutir – forem feitas ao mesmo tempo, haverá risco de engasgar.

## 2.3 Estômago

O **estômago** armazena temporariamente o bolo alimentar deglutido, e ali esse bolo é misturado com secreções que compõem o **suco gástrico**, produzido por glândulas da parede do estômago. O bolo alimentar, após sofrer a ação dessas secreções, transforma-se em uma pasta semilíquida, o **quimo**.

O peristaltismo também ocorre no estômago: suas paredes sofrem contrações lentas após a entrada do bolo alimentar, o que ajuda a misturá-lo com o suco gástrico. Além disso, os movimentos peristálticos conduzem lentamente o quimo para o intestino delgado.



A principal enzima presente no suco gástrico é a **pepsina**, que atua sobre as proteínas, quebrando-as em peptídeos, por hidrólise. O pH ótimo de ação da pepsina é fortemente ácido, em torno de 2; em valores de pH acima de 5, a pepsina se torna inativa. A secreção de ácido clorídrico (HCl) pelas glândulas da parede do estômago deixa o suco gástrico com pH = 2, garantindo a digestão das proteínas.

A parede do estômago não é corroída pelo ácido porque existe uma espessa camada de muco, secretado pelas glândulas que revestem internamente o estômago.

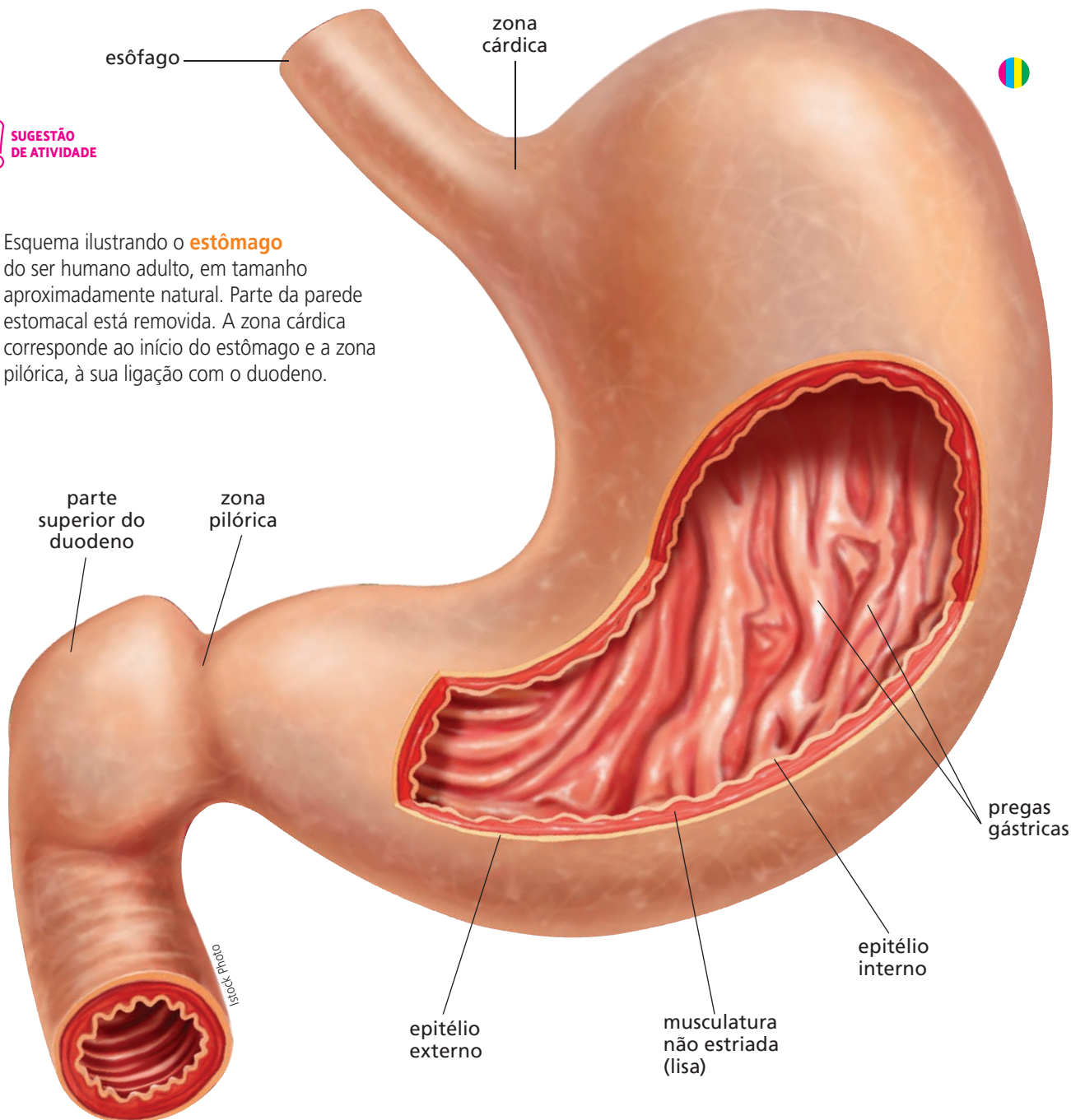
Voltando ao exemplo de refeição, comentado no início do capítulo, as proteínas do bife, do ovo e do feijão começam a ser digeridas pela pepsina; os outros componentes do alimento – carboidratos, lipídios e nucleotídeos – praticamente não sofrem digestão no estômago.



SUGESTÃO  
DE ATIVIDADE

> Esquema ilustrando o **estômago** do ser humano adulto, em tamanho aproximadamente natural. Parte da parede estomacal está removida. A zona cárdica corresponde ao início do estômago e a zona pilórica, à sua ligação com o duodeno.

DIVULGAÇÃO PNLD

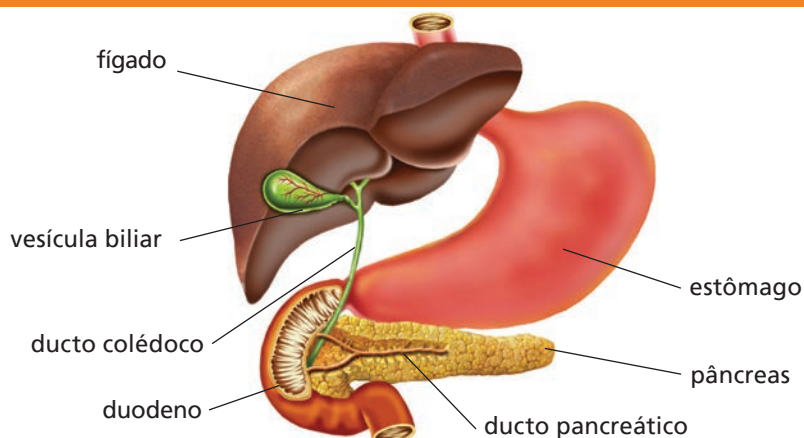


## 2.4 Intestino delgado e glândulas anexas

A região inicial do **intestino delgado**, que se comunica com o estômago, é o **duodeno**, onde ocorre a digestão de todos os componentes do alimento que ainda não foram digeridos ou que tiveram sua digestão iniciada na boca, caso do amido, ou no estômago, caso das proteínas. A extensão do duodeno é de cerca de 25 cm de comprimento no adulto. A outra região do intestino delgado, que possui cerca de 6 metros de comprimento no adulto, é responsável pela absorção dos nutrientes (monossacarídeos, aminoácidos, nucleotídeos, ácidos graxos, vitaminas e sais minerais). Essa região do intestino delgado apresenta duas porções: o **jejuno**, que se comunica com o duodeno, e o **íleo**, que termina na região de comunicação com o intestino grosso.

O duodeno recebe secreções produzidas pelo fígado e pelo pâncreas. Além disso, as células que o revestem internamente também produzem enzimas digestivas, que são secretadas diretamente sobre o quimo, proveniente do estômago.

### Glândulas anexas do sistema digestório relacionadas ao duodeno




◀ Esquema mostrando glândulas anexas ao sistema digestório: fígado e pâncreas.

Elas se abrem no duodeno, por meio de ductos. O duodeno e o pâncreas estão representados com parte da parede removida.

As células do **fígado** produzem continuamente a **bile** ou **bilis**, que não contém enzimas digestivas e é liberada no duodeno por meio do **ducto colédoco**. A bile pode ser armazenada na **vesícula biliar** até o momento de sua liberação. Os sais biliares exercem ação emulsificante sobre a gordura do alimento. Isso significa que as gotículas de gordura podem ser separadas atingindo pequenas dimensões, o que aumenta a superfície de contato entre os lipídios e as lipases, produzidas pelo pâncreas e células do duodeno. Além disso, a bilis garante a absorção dos produtos da quebra dos lipídios no intestino delgado.

O **pâncreas** é uma glândula mista: produz hormônios, que são lançados diretamente na corrente sanguínea, e produz o **suco pancreático**, conduzido pelo ducto pancreático até o duodeno. O suco pancreático contém enzimas que atuam na digestão de carboidratos, proteínas, gorduras e ácidos nucleicos, além de bicarbonato de sódio (pH = 8), que neutraliza o pH ácido do quimo que acabou de sair do estômago. As principais enzimas produzidas pelo pâncreas são:

- ▶ **amilase** – quebra do amido que não foi digerido na boca;
- ▶ **lipases** – digestão das gorduras em ácidos graxos e glicerol;
- ▶ **tripsina** e outras **proteases** – digestão de proteínas em polipeptídeos e peptídeos;
- ▶ **nucleases** – digestão de DNA e RNA em nucleotídeos.




**MULTIMÍDIA**

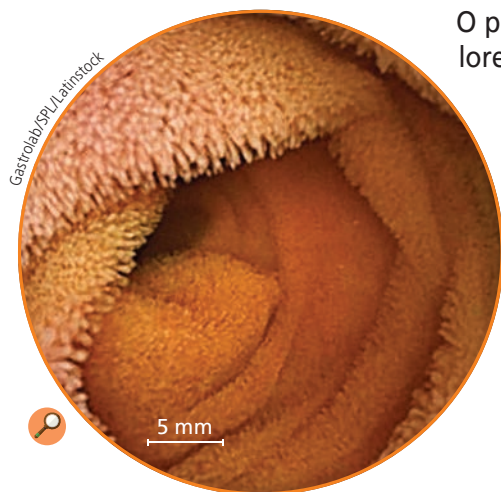
**Anatomia do sistema digestório humano**  
[http://portaldo professor.mec.gov.br/storage/recursos/11014/sistema\\_digestorio3d.swf](http://portaldo professor.mec.gov.br/storage/recursos/11014/sistema_digestorio3d.swf)

Neste *link* você encontra a representação tridimensional do sistema digestório, podendo “girar” o corpo e ver os órgãos de diferentes ângulos.

Acesso em: 18 mar. 2016.

Reprodução





↗ **Revestimento interno do intestino delgado.** Esta imagem foi obtida com uma pequena câmera acoplada a um tubo, em um procedimento chamado endoscopia.

✓ Esquema do **epitélio de revestimento interno do intestino delgado**, destacando as vilosidades e microvilosidades. Estruturas representadas em corte.

O pH ótimo desses grupos de enzimas é ligeiramente básico, com valores entre 7 e 8.

As secreções produzidas pelas células da parede do duodeno formam o **suco intestinal** ou **suco entérico**. As enzimas do suco intestinal que complementam a ação das enzimas pancreáticas são:

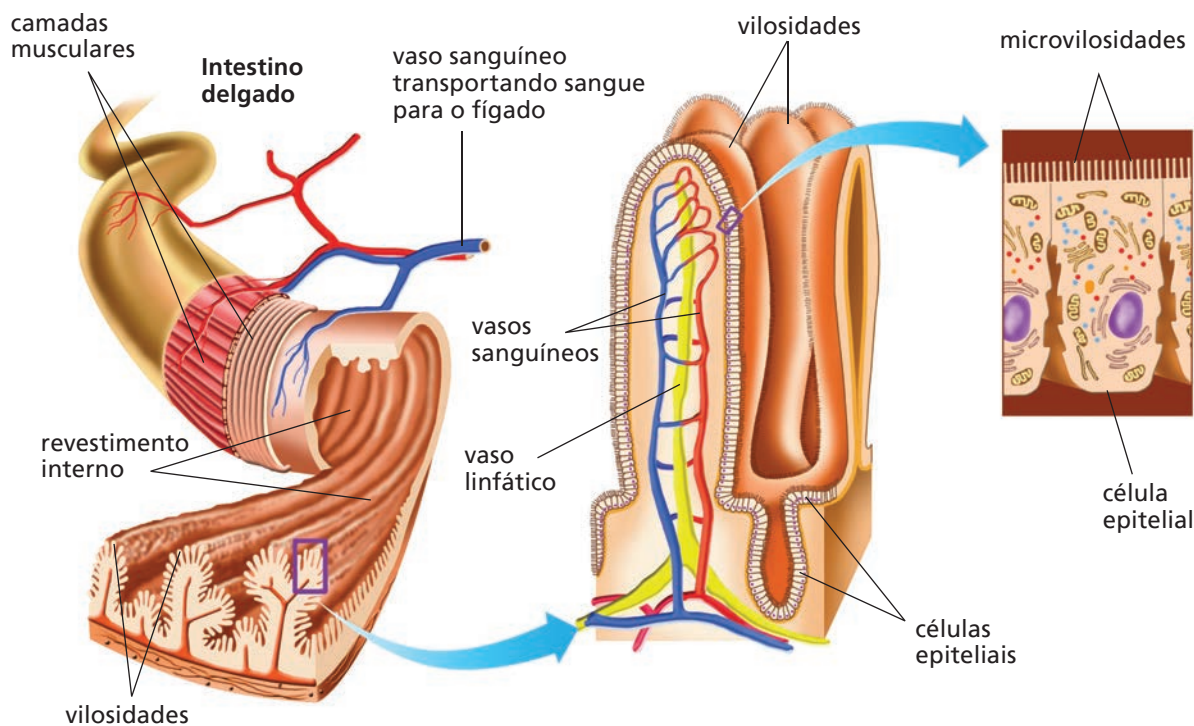
- ▶ **peptidases** – digestão de peptídeos em aminoácidos isolados;
- ▶ **lipases** – digestão de lipídios em ácidos graxos e glicerol;
- ▶ enzimas que digerem dissacarídeos, como a sacarose, a maltose e a lactose, em monossacarídeos (glicose, frutose e galactose);
- ▶ enzimas que digerem nucleotídeos em bases nitrogenadas, fosfatos e pentoses (desoxirribose e ribose).

Ao deixar o duodeno, o alimento está reduzido a um líquido rico em nutrientes chamado **quilo**. Os nutrientes são absorvidos pelas células da parede do intestino delgado e passam para a circulação sanguínea. O revestimento interno do intestino apre-

senta dobras, ou **vilosidades**, que aumentam a superfície de absorção de água e nutrientes. Além disso, as próprias células do epitélio intestinal possuem dobras – as **microvilosidades** – nas membranas.

As vitaminas são moléculas orgânicas pequenas que, assim como as substâncias inorgânicas (a água e os sais minerais), são diretamente absorvidas pelas células da parede do intestino, caindo na circulação sanguínea e sendo levadas para todas as partes do corpo.

### Revestimento interno do intestino delgado





## 2.5 Intestino grosso

Após a absorção no intestino delgado, chegam ao **intestino grosso** água, íons e substâncias não digeridas. Os íons e a água são amplamente absorvidos, restando pequena quantidade de líquido que será eliminada nas fezes. Ácidos graxos e vitaminas, como A, D, E e K, também são absorvidos pelas células que revestem o intestino grosso.

No interior do intestino grosso são encontradas numerosas bactérias capazes de degradar algumas substâncias e produzir vitaminas K e B<sub>12</sub>, entre outras. As vitaminas são absorvidas e contribuem para a nutrição do organismo, conforme comentaremos mais adiante.

Após a absorção de água, íons e vitaminas, formam-se as fezes, constituídas de bactérias mortas, substâncias inorgânicas e materiais não digeridos.

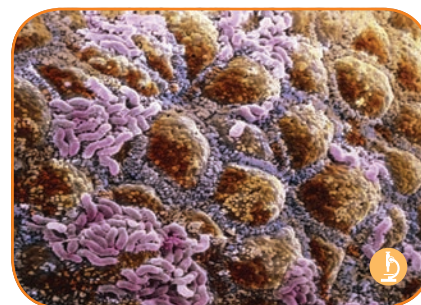
### A importância da celulose na formação das fezes

A celulose é um polissacarídeo presente na parede das células vegetais e compõe as **fibras alimentares**. As verduras são um exemplo de fonte de fibras. A celulose pode ser quebrada em moléculas de glicose pela enzima celulase, mas essa enzima não é produzida no sistema digestório humano, nem no de outros animais. Na natureza, apenas alguns micro-organismos produzem celulase. No sistema digestório de animais herbívoros, como os ruminantes, vivem micro-organismos que realizam a degradação da celulose.

Embora não possam servir como alimento para o ser humano, as fibras de celulose auxiliam na movimentação do quilo nos intestinos delgado e grosso e garantem a formação das fezes. As fibras promovem a retenção de água nas fezes e estimulam o peristaltismo intestinal, pois aumentam o volume fecal, facilitando assim a defecação.



Prensa Três



Superfície interna do **intestino grosso**, onde há células que secretam muco. Há muitas bactérias em forma de pequenos bastões (rosa). Cada bactéria mede cerca de 2 µm de comprimento.

## 2.6 Controle da ação digestiva

A atividade sincronizada dos diversos órgãos envolvidos na digestão dos alimentos deve-se aos controles nervoso e hormonal. As fibras parassimpáticas da parte autônoma do sistema nervoso enviam estímulos que determinam desde o aumento da liberação de saliva até o peristaltismo do esôfago, estômago e intestinos.

Com exceção das glândulas salivares, cujo controle é apenas nervoso, as outras estruturas também sofrem controle por hormônios secretados pelos próprios órgãos digestivos. No estômago, por exemplo, ocorre a síntese do hormônio **gastrina**, liberado com a entrada do bolo alimentar. A gastrina é absorvida pelo sangue e age estimulando as glândulas estomacais a secretarem suco gástrico. Ao contrário do controle nervoso, que gera efeito praticamente imediato, a ação da gastrina pode durar até algumas horas. Quando o pH no interior do estômago se torna suficientemente ácido, a secreção de gastrina é inibida. As enterogastrinas são um conjunto de hormônios produzido por células do duodeno que atuam inibindo o peristaltismo do estômago e estimulando a liberação da biliar e do suco pancreático.

Verduras são fonte de vitaminas, sais minerais e fibras, estas últimas importantes na formação das fezes.

## 3 Nutrição e saúde

Você certamente já ouviu falar que a boa saúde está relacionada à alimentação balanceada, com quantidades adequadas de carboidratos, proteínas, lipídios, vitaminas e sais minerais. Por que essas substâncias têm papel tão importante para nossa saúde?

Tais substâncias são chamadas **nutrientes**, necessários para que as células do organismo humano possam realizar suas tarefas, inclusive a de repor as células que vão morrendo.

Os carboidratos são, em sua maioria, fonte de energia. No processo de respiração celular, a glicose é utilizada na produção de adenosina trifosfato (**ATP**), a molécula que possibilita às células a obtenção rápida de energia.

✓ O **consumo diário de frutas** faz parte de uma alimentação saudável.

As proteínas exercem variadas funções; entre seus vários tipos, podemos citar as enzimas, os anticorpos, as proteínas contrácteis dos músculos e a maioria dos hormônios.

Os lipídios são constituintes das membranas celulares, estão envolvidos na produção de certos hormônios e estão associados ao aproveitamento de algumas vitaminas pelo organismo, entre outras funções.

O excesso ou a falta desses nutrientes no organismo pode causar danos à saúde. Esses efeitos estão resumidos a seguir de forma bastante simplificada, e os comentários feitos não se referem a pessoas com restrições alimentares e acompanhamento médico, como é o caso de pessoas diabéticas.



### 3.1 Tipos de nutrientes

#### Carboidratos

Os **carboidratos** constituem a fonte preferencial de energia pelas células; na deficiência deles, o organismo utiliza lipídios e proteínas para obtenção de energia. São exemplos de carboidratos usados como alimento o amido, a sacarose (açúcar comum) e a frutose, presente nas frutas e no mel.

✓ O pão é **fonte de carboidrato** na alimentação humana.

Pessoas que adotam regimes alimentares com restrição de carboidratos podem apresentar sintomas, como cansaço físico, dores de cabeça e perda de massa muscular. As restrições alimentares devem ser sempre orientadas por um nutricionista, para evitar prejuízos à saúde.

O consumo excessivo de carboidratos está relacionado ao aumento das reservas de gordura no organismo. Quando a glicose não é utilizada imediatamente para produção de energia, é transformada por diversos tipos celulares em glicogênio, até atingir um nível de saturação. A partir de então, a glicose extra passa a ser convertida em gordura pelo fígado e pelo tecido adiposo.





## Proteínas

Veja comentários no Manual a respeito dos aminoácidos essenciais.

Você já sabe a respeito da importância das **proteínas** para as células e para o organismo humano: enzimas, anticorpos, fibras como o colágeno, a actina e a miosina são apenas alguns exemplos de proteínas. Você pode imaginar, então, as consequências da deficiência de proteínas na alimentação. Dos vinte tipos de aminoácidos que as células utilizam na síntese proteica, alguns são considerados essenciais, pois não são produzidos pelo organismo e devem ser obtidos por meio dos alimentos. Carne e outros alimentos de origem animal (ovos e leite) são fontes completas de proteínas, pois fornecem todos os aminoácidos essenciais ao corpo humano. Já uma refeição constituída apenas de vegetais deve ser bem variada, para que todos os aminoácidos essenciais estejam presentes.

Quando um indivíduo consome proteínas em quantidade muito acima daquela recomendada para seu peso e idade, uma grande proporção será convertida em lipídios. Além disso, pode ocorrer a liberação de proteínas na urina, devido a alterações no funcionamento dos rins, que, em longo prazo, podem causar insuficiência renal.

✓ Leite e ovos são exemplos de **fonte de proteínas**.



Photodisc/Arquivo da editora

## Lipídios

A maior parte dos ácidos graxos necessários à síntese de **lipídios** pelas células pode ser produzida no organismo; existem, no entanto, ácidos graxos essenciais, que não são sintetizados no organismo e devem ser obtidos pela alimentação. O ácido linoleico é um exemplo de ácido graxo fundamental na produção dos fosfolipídios, que constituem as membranas celulares; ele está presente em óleos de origem vegetal.

O **colesterol** é um lipídio importante na formação das membranas celulares das células animais, ajudando a garantir sua integridade; também é utilizado na síntese de sais biliares e pode ser precursor de alguns hormônios, como o estrógeno e a testosterona. Uma parte do colesterol é sintetizada pelo organismo, principalmente pelas células do fígado; a outra é obtida pelo consumo de alimentos de origem animal, que apresentam a chamada gordura saturada. O consumo da gordura saturada, no entanto, deve ser controlado, pois pode elevar o nível de colesterol no sangue.

O excesso de lipídios está associado a dietas ricas em gorduras e vem se tornando um problema de saúde pública em países onde o consumo de alimentos fritos e engordurados é muito grande. Conforme comentamos anteriormente, o acúmulo de lipídios no organismo também pode estar relacionado ao consumo excessivo de carboidratos ou proteínas. A deposição de gordura em excesso pode levar à obesidade e acarretar problemas cardiovasculares, como o agravamento da aterosclerose (veja o quadro a seguir).

✓ O azeite, óleo vegetal extraído das azeitonas, é **fonte de ácidos graxos**, como o ácido linoleico.



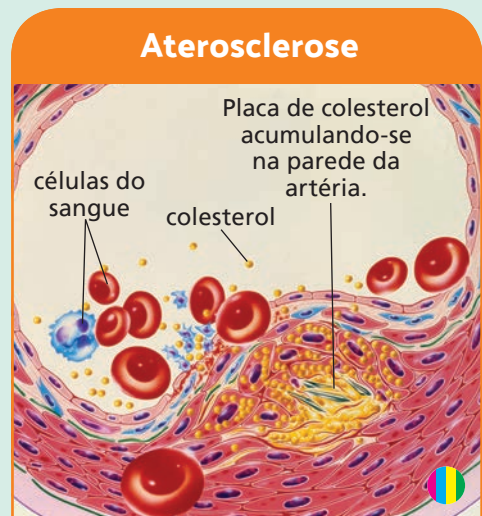
Photodisc/Arquivo da editora



## Aterosclerose

A **aterosclerose** é uma doença originada por lesões no endotélio, tecido que reveste internamente as artérias. O dano às células endoteliais pode ter várias origens e progride para a formação de depósitos de colesterol na forma de placas. Inicia-se então um processo de fibrose dessas áreas, que perdem sua capacidade de distensão, podendo romper-se com facilidade. Muitas vezes, há depósito de cálcio junto com os lipídios. Nesse estágio, a doença pode ser chamada de arteriosclerose, que significa “endurecimento das artérias”. Sabe-se que estão mais predispostas a desenvolver a doença pessoas com diabetes, disfunções da glândula tireóidea ou obesidade, pois apresentam colesterol sanguíneo elevado; hipertensão e a ocorrência de casos na família também exigem atenção. O diagnóstico e o tratamento da aterosclerose deve sempre ser feito por médico.

➤ Esquema de corte histológico em uma artéria mostrando a etapa inicial da aterosclerose: o **acúmulo de colesterol no endotélio**.



John Bavos/SPU/Latinstock

Veja informações no Manual.



### PENSE E RESPONDA

Analisando a tabela a seguir, procure relacionar cada vitamina à sua atuação nos tecidos do corpo humano. Anote em seu caderno as suas opiniões, na forma de uma tabela. Em seguida, busque informações em livros e sites, para corrigir ou complementar sua tabela.

## Vitaminas

As **vitaminas** são substâncias orgânicas essenciais ao funcionamento das células, sendo necessárias em pequenas doses diárias. Como regra geral, não são sintetizadas pelo organismo e devem ser adquiridas pela alimentação.




Entre as vitaminas necessárias ao organismo humano, existem as hidrossolúveis (complexo B e C) e as lipossolúveis (A, D, E e K). As lipossolúveis associam-se a certos ácidos graxos no intestino, o que possibilita sua absorção pelo organismo. A deficiência na ingestão de certos lipídios pode trazer consequências para a absorção dessas vitaminas.

Diets deficientes em vitaminas estão relacionadas a sintomas característicos: são as **avitaminoses**. O excesso no consumo de vitaminas também pode ser prejudicial à saúde. Acompanhe, na tabela a seguir, informações a respeito de algumas vitaminas essenciais à saúde humana.

Vitaminas	Principais fontes	Alguns sintomas da avitaminose
<b>A</b> Retinol	Laticínios, cenouras	Cegueira noturna (xerofthalmia), pele escamosa
<b>B<sub>1</sub></b> Tiamina	Carnes, legumes, cereais integrais e verduras	Beribéri: degeneração dos nervos
<b>B<sub>3</sub></b> Niacina ou PP	Carnes e cereais integrais	Pelagra: lesões na pele, diarreia e distúrbios nervosos
<b>B<sub>9</sub></b> Ácido fólico	Vegetais verdes, laranja, cereais integrais – sintetizada também pela flora intestinal	Anemia; em gestantes, prejudica o desenvolvimento do tubo neural do feto
<b>B<sub>12</sub></b> Cobalamina	Carnes, ovos e laticínios – sintetizada também por bactérias da flora intestinal	Anemia perniciosa
<b>C</b> Ácido ascórbico	Frutas, verduras e legumes	Escorbuto: fraqueza, sangramento das gengivas
<b>D</b> Calciferol	Laticínios, gema de ovo, vegetais ricos em óleo – sintetizada também por células da pele expostas aos raios solares	Raquitismo (crianças) e enfraquecimento dos ossos (adultos)
<b>E</b> Tocoferol	Óleos vegetais, nozes e castanhas	Anemia e esterilidade
<b>K</b> Filoquinona	Vegetais – sintetizada também por bactérias da flora intestinal	Dificuldade de coagulação sanguínea

## Sais minerais

Os **sais minerais** são necessários em pequenas quantidades diárias, assim como as vitaminas, e o consumo deficiente ou excessivo pode acarretar problemas de saúde. Apesar de “sais minerais” ser um nome consagrado pelo uso, a maioria dessas substâncias é absorvida pelo organismo na forma de íons. A tabela a seguir apresenta a importância e a fonte alimentar de alguns sais minerais essenciais à saúde humana.

Íon	Importância	Fonte
Ferro	Faz parte da molécula de hemoglobina, que dá cor vermelha ao sangue e é responsável pelo transporte de gás oxigênio.	Carnes, legumes e vegetais verdes, fígado e gema de ovo 
Cálcio	Essencial para os processos de contração muscular e de coagulação do sangue.	Leite e derivados, vegetais verdes 
Fósforo	Faz parte da molécula de ácidos nucleicos (material genético), que comanda a síntese de proteínas e a divisão celular.	Leite e derivados, carnes e cereais 
Sódio	Essencial para a transmissão de impulsos nervosos e para o equilíbrio hídrico do corpo.	Sal de cozinha 
Potássio	Essencial para a transmissão de impulsos nervosos e para a contração muscular.	Leite e derivados, carnes e frutas 

As figuras estão representadas em diferentes escalas.



### Íon

Quando um átomo perde ou recebe elétrons, transforma-se em um íon, que não é eletricamente neutro, mas carregado positiva ou negativamente. O sal de cozinha ( $\text{NaCl}$ ) em solução aquosa se dissocia formando íons sódio ( $\text{Na}^+$ ) e íons cloreto ( $\text{Cl}^-$ ).

Flávio Nigro/Arquivo da editora

Photodisc/Arquivo da editora

Photodisc/Arquivo da editora

Photodisc/Arquivo da editora

Photodisc/Arquivo da editora



Jacek/Kino

Especial atenção tem sido dada à falta de ferro na alimentação, que caracteriza a **anemia ferropriva**, quadro que atinge cerca de 50% das crianças e 20% de adultos no Brasil. Em crianças, estados graves desse tipo de anemia podem comprometer o desenvolvimento cognitivo e, em gestantes, as consequências podem ser observadas no feto, que nasce com baixo peso. Há um acordo entre o Governo Federal e os produtores para a adição de ferro nas farinhas de milho e de trigo, que também são fortificadas com ácido fólico (vitamina  $\text{B}_9$ ). A deficiência dessa vitamina está associada a problemas no desenvolvimento do feto, afetando principalmente a formação do tubo neural.

^ A farinha, usada para fazer pães, bolos e tantos outros alimentos, pode ter **ácido fólico adicionado**, sem alterar suas características.



## ATIVIDADE PRÁTICA

**ALERTA**  
A atividade deve ser feita apenas sob a supervisão do professor.

### Investigando o escurecimento da maçã

Os alimentos passam naturalmente pelo processo de deterioração, durante o qual os nutrientes sofrem transformações. Além da ação de micro-organismos decompositores, os alimentos possuem enzimas que promovem a deterioração da matéria orgânica. Quando uma fruta é cortada, por exemplo, enzimas são liberadas, promovendo a reação entre certas substâncias e o gás oxigênio do ar, causando o escurecimento da fruta. Nos procedimentos a seguir, vamos usar a maçã, que possui polpa branca, como modelo de estudo.

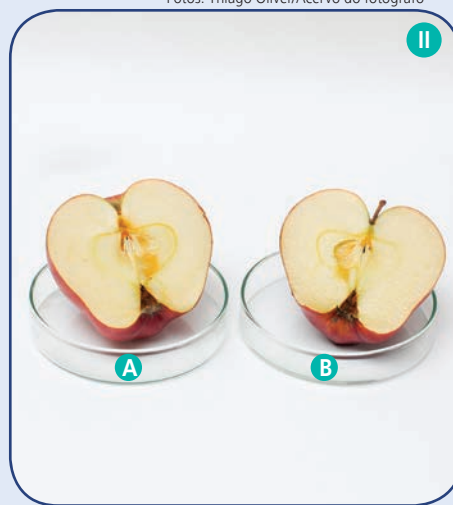
#### Material necessário

- Uma maçã;
- um limão ou um comprimido efervescente de vitamina C;
- dois pires ou pratos pequenos;
- caneta marcadora ou etiquetas;
- relógio ou cronômetro;
- uma colher.

O termo fruta é popular e se refere tanto a frutos, como a laranja e a manga, quanto a pseudofrutos, como a maçã e o abacaxi.

#### Procedimentos

1. Se você e seu grupo forem utilizar o comprimido efervescente de vitamina C, utilizem um copo pequeno com água na temperatura ambiente e nele coloquem o comprimido para que dissolva totalmente. Se for utilizar o limão, peça ao professor que corte-o ao meio.
2. O professor deverá cortar a maçã ao meio.
3. Usando a caneta marcadora ou as etiquetas, identifiquem os pires ou pratos como **A** e **B**. Coloquem uma metade da maçã em cada um deles.
4. No pedaço de maçã do prato **B**, coloquem a medida de duas colheres de vitamina C ou de suco de limão na superfície da polpa, espalhando bem (veja a foto I, ao lado).
5. Deixem as duas amostras – **A** e **B** – em contato com o ar, por cerca de uma hora, conforme mostrado na foto II). Observem e registrem os resultados.



Fotos: Thiago Oliver/Acervo do fotógrafo

#### Interpretando os resultados

- a. Espera-se que **A** apresente escurecimento da polpa da maçã, devido ao contato com o oxigênio do ar. Consulte o Manual.
- a. Elaborem uma explicação para o resultado observado na amostra **A**.
- b. Sabendo que a vitamina C é uma substância antioxidante, elaborem uma explicação para o resultado observado na amostra **B**. b. Espera-se que **B** não escureça em contato com o ar, pela ação antioxidante da vitamina C, presente no limão e no comprimido efervescente.
- c. Por que devemos consumir vitamina C diariamente? Citem alimentos ricos nessa vitamina. c. A vitamina C é importante para prevenir o escorbuto e participa de diversos processos no corpo. Frutas, verduras e legumes são ricos em vitamina C.
- d. Elaborem outro procedimento que impeça a reação de substâncias da maçã com o oxigênio do ar. Se houver condições, vocês podem testar o procedimento, sob orientação do professor. d. Resposta pessoal. Um exemplo é cobrir uma amostra de maçã com filme plástico, o que impede o contato da polpa com o oxigênio do ar.



## 3.2 Segurança alimentar


A nutrição do ser humano é tema muito presente na mídia e também preocupação constante de instituições governamentais ligadas à saúde, no Brasil e no mundo. Pesquisas científicas mostram que muitas doenças podem ser evitadas pela alimentação saudável, que garante a ingestão diária dos nutrientes necessários. A deficiência de determinados nutrientes, ou **subnutrição**, torna a pessoa mais vulnerável a diversas doenças. Em casos mais graves de deficiência de nutrientes, ocorre a **desnutrição**, que causa sérios prejuízos ao desenvolvimento do corpo, especialmente em crianças, e pode levar à morte.

Para garantir o direito à nutrição adequada à população brasileira, foi implementada uma política governamental por meio do Sistema de **Segurança Alimentar e Nutricional**, cujo objetivo é:


[...] assegurar o direito humano à alimentação adequada e saudável, ou seja, o direito de cada pessoa ter acesso físico e econômico, ininterruptamente, à alimentação adequada e saudável ou aos meios para obter essa alimentação, sem comprometer os recursos para assegurar outros direitos fundamentais, como saúde e educação.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. *Guia alimentar para a população brasileira*. 2. ed. Brasília: 2014, p. 9.




**MULTIMÍDIA**

**Guia alimentar para a população brasileira**  
<http://portalsaude.saude.gov.br/images/pdf/2014/novembro/05/Guia-Alimentar-para-a-pop-brasileira-Miolo-PDF-Internet.pdf>  
 O guia aborda, em linguagem acessível, a importância dos diferentes nutrientes e o que é uma alimentação saudável, bem como os cuidados necessários na manipulação e no preparo dos alimentos.  
 Acesso em: 23 fev. 2016.



A alimentação saudável começa nos primeiros momentos de vida, pelo leite materno, que contém todos os nutrientes de que o bebê necessita para se desenvolver e crescer. Os especialistas afirmam que, até os 6 meses de vida, um bebê não precisa de nenhum outro alimento além do leite materno e, por isso, existem bancos em maternidades públicas que auxiliam na nutrição dos bebês cujas mães não produziram quantidade suficiente de leite. As campanhas que promovem o aleitamento materno são ações importantes para oferecer a segurança alimentar no Brasil.

Ao longo da vida, as necessidades nutricionais das pessoas vão se modificando, o que deve refletir em adaptações em sua alimentação.

A política de Segurança Alimentar e Nutricional considera que os alimentos apresentam não apenas nutrientes, mas também cor, cheiro, gosto, textura, além do significado social, cultural e emocional. As comidas da região onde você mora fazem parte de sua cultura. A escolha por determinados alimentos não depende apenas do gosto pessoal ou de costumes da região, mas também é influenciada pela disponibilidade dos alimentos nos mercados, pelo seu preço e até mesmo pelas propagandas.



Alexandra Marques/Agência Minas

^ **Banco de leite materno** em hospital público de Minas Gerais. A manutenção do estoque depende de mulheres doadoras, em um processo simples e indolor que beneficia muitos bebês.

SUGESTÃO  
DE ATIVIDADE

Entender a importância dos alimentos na nutrição de nosso corpo é fundamental para planejar uma dieta saudável, que respeite os gostos pessoais e as características culturais da alimentação.

É importante lembrar que a palavra **dieta** se refere ao tipo e à quantidade de alimentos que uma pessoa ingere por dia. Ela também é comumente usada para se referir aos regimes alimentares, em que há restrição na ingestão de certos alimentos. Não se deve acreditar em “dietas milagrosas” que prometem levar à rápida perda de peso ou ganho de massa muscular. Regimes devem ser feitos apenas com orientação de médicos e nutricionistas, para não causarem prejuízos ao corpo.

Recomenda-se, como parte de uma alimentação saudável, fazer pelo menos três refeições por dia (café da manhã, almoço e jantar), com pequenos lanches nos intervalos. As refeições devem ser coloridas e saborosas, preparadas com alimentos frescos e variados. Ao longo do dia, é importante ingerir água tratada, livre de micro-organismos. Para uma vida saudável, o Ministério da Saúde recomenda também 30 minutos de atividade física diária, o que ajuda a prevenir diversas doenças e evita o acúmulo excessivo de gordura no corpo.

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), cerca de um bilhão de pessoas no mundo vive em condições de fome crônica e não têm acesso à água em quantidade suficiente e de qualidade para beber e preparar alimentos. Esses dois problemas estão conectados; as políticas de segurança alimentar também contêm ações que promovem a redução do desperdício de água e alimentos.



Rachel Watson/Getty Images

DIVULGAÇÃO PNLD

Os especialistas recomendam montar “pratos coloridos”, ou seja, contendo **alimentos de diversos tipos**, incluindo variedade de verduras.

- a) Segurança alimentar está relacionada ao acesso a alimentos adequados ao consumo. A água, como um recurso natural indispensável, está intimamente relacionada com a segurança alimentar no planeta, pois é essencial para produzir os alimentos, preparar refeições e para consumo.
- b) A alimentação saudável não apenas atende às necessidades calóricas, mas também fornece ao corpo os nutrientes necessários, como proteínas, vitaminas, sais minerais e outros.
- c) Com o combate ao desperdício, há maior oferta de alimentos para a população.
- d) Resposta pessoal.



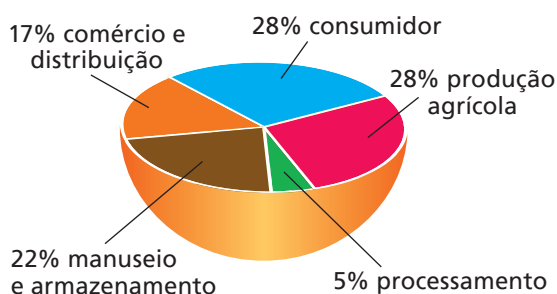
### REÚNA-SE COM OS COLEGAS

Converse com dois colegas a respeito das questões:

- O que é segurança alimentar e qual a sua relação com a água?
- Por que vocês necessitam de uma dieta variada e saudável para manter suas atividades diárias?
- Analise o gráfico ao lado e explique como o desperdício de alimentos, tanto na produção quanto no consumo doméstico, se relaciona à segurança alimentar.
- O que pode ser melhorado, em termos de segurança alimentar, em sua comunidade?

Com base nas respostas anteriores, façam uma análise crítica e proponham pelo menos duas ações, simples de serem executadas, que podem contribuir para a saúde. Com sua turma, elaborem uma carta encaminhando as sugestões à prefeitura ou à câmara de vereadores de sua cidade.

#### Perdas e desperdícios ao longo da cadeia produtiva de alimentos, na América Latina (2012)



Fonte: FAO. *Save food: Global Initiative on Food Loss and Waste Reduction*. Disponível em: <<http://www.fao.org/save-food/en/>>. Acesso em: 30 mar. 2016.

Equipe NATH/Arquivo da editora



## Outras funções da saliva

A saliva é constantemente secretada na cavidade bucal, mesmo quando não estamos nos alimentando. A liberação de saliva é importante para a saúde bucal.

A boca contém bactérias patogênicas, que podem causar cáries, gengivite e outros problemas. A saliva contém substâncias que destroem bactérias, como a enzima lisozima, também presente na lágrima, e certa quantidade de anticorpos. Além disso, ao engolirmos a saliva, bactérias são deglutidas com ela e, assim, retiradas da boca. Indivíduos que apresentam deficiência

na produção e liberação de saliva têm maiores chances de apresentar ulcerações na mucosa bucal e cáries, além de outras doenças causadas por micro-organismos, como a candidíase, causada por um fungo.

Para estimular a secreção de saliva, recomenda-se a mastigação cuidadosa dos alimentos e o consumo de cerca de 2 litros de água por dia. Casos graves de hipossalivação, como é conhecida a produção deficiente de saliva, devem ser tratados com medicamentos que estimulam a salivação, sob orientação de especialista.

## Composição nutricional dos alimentos

No início do capítulo, foi escolhido como exemplo um cardápio muito conhecido no Brasil: arroz, feijão, bife, ovo e salada. Em seguida, foram listados os principais nutrientes encontrados em cada alimento desse prato.

Dizemos que, quando um alimento possui grande quantidade de um nutriente em uma determinada porção, ele é uma fonte desse nutriente. Assim, o feijão cozido possui muitos nutrientes e água em sua composição, mas podemos afirmar que é fonte de carboidratos e proteínas devido à alta propor-

ção desses compo-

nentes em uma porção, com-

parando-se com outros

alimentos. A

composição

nutricional de

alguns alimentos

citados, em valores aproximados,

você encontra na tabela a seguir:



Priscila Paredes/Artes 175

Composição nutricional para porções de 100 gramas (g)

Nutrientes	Carne de boi grelhada	Arroz branco cozido	Feijão cozido	Alface crua	Tomate cru
Carboidratos	0 g	29 g	23 g	2 g	5 g
Proteínas	26 g	2 g	9 g	1 g	1 g
Gorduras	20 g	0 g	1 g	0 g	0 g
Fibras	0 g	0 g	6 g	1 g	1 g
Vitaminas	Complexo B: 5 mg	Complexo B: 2 mg	Complexo B: 2 mg	C: 4 mg	C: 19 mg
Principais sais minerais	Ferro: 2 mg Potássio: 350 mg Fósforo: 194 mg	Fósforo: 37 mg Potássio: 29 mg Magnésio: 13 mg	Ferro: 3 mg Cálcio: 28 mg Potássio: 403 mg Fósforo: 142 mg	Ferro: 1 mg Cálcio: 19 mg Potássio: 160 mg	Cálcio: 5 mg Potássio: 222 mg Sódio: 9 mg Fósforo: 24 mg Magnésio: 11 mg
Outras informações	100 g = 1 bife médio; apresenta colesterol (79 mg).	69% de água; arroz integral tem fibras e maior variedade de vitaminas e sais.	67% de água	96% de água	94% de água; fonte de licopeno

Fonte:

ESCOLA PAULISTA DE MEDICINA, UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO PAULO. *Tabela de composição química dos alimentos*. Departamento de Informática em Saúde. Disponível em: <<http://www.dis.epm.br/servicos/nutri/public/alimento>>. Acesso em: 23 fev. 2016.





## 1 A saúde do adolescente começa pela boca!

Segundo especialistas em **saúde bucal**, os adolescentes (entre os 12 e os 19 anos de idade) são mais vulneráveis a cáries e outros problemas nos dentes, por ser uma época da vida de grandes transformações físicas e emocionais. Os adolescentes estão entre os grupos da população que menos procuram consultar-se com dentistas, o que é recomendável a cada seis meses. Muitos jovens não incorporam a higiene bucal em seu dia a dia e o consumo excessivo de refrigerantes, doces e alimentos industrializados os tornam mais propensos às cáries e gengivites.

Na adolescência também são comuns problemas na erupção do terceiro molar (o “dente do siso”), traumatismos dentários devido a quedas e acidentes, e prejuízos aos dentes causados por consumo de álcool, drogas, cigarro, e pelo uso de *piercing* na cavidade oral.

Com o acompanhamento de um(a) dentista, é possível ter dentes saudáveis, o que contribui para o bem-estar físico e emocional. Veja algumas dicas para a saúde bucal:

- a má oclusão (dentes tortos, apinhados, mordida aberta) pode causar dores de cabeça e distúr-

bios do sono, mas pode ser corrigida por aparelhos ortodônticos, a partir da orientação de um ortodontista;

- os aparelhos ortodônticos só devem ser colocados por um ortodontista, que deve acompanhar todo o tratamento;

- a escova de dentes é de uso individual e não deve ser emprestada a ninguém, porque podemos contrair doenças, como a hepatite B – pelo mesmo motivo, não se deve compartilhar o uso de alicates, barbeadores, *piercings* ou pinças;

- não fumar, pois o fumo, de qualquer origem, causa manchas nos dentes, mau hálito, perda do paladar e pode facilitar a perda dentária;

- na prática do sexo oral deve-se fazer o uso da camisinha, evitando o risco de contaminação por doenças sexualmente transmissíveis;

- o uso de *piercing* na boca aumenta o risco de inflamações e infecções na mucosa bucal.

Fontes:

INSTITUTO CIÊNCIA HOJE. Conversando sobre saúde com adolescentes. *Ciência Hoje na Escola*, v. 13. Rio de Janeiro: Instituto Ciência Hoje, 2007, p. 48.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. *Saúde bucal*. Caderno de Atenção Básica n. 17. 1. ed. Brasília: Ministério da Saúde, 2008, p. 31.



## DEPOIS DA LEITURA...

Reúna-se com os colegas e consultem livros e *sites* sobre saúde bucal; se possível, entrevistem um(a) dentista ou um(a) agente de saúde. Com as informações, façam um cartaz com o tema, colocando orientações a respeito da escovação correta e de outras ações que evitam a perda de dentes e outros problemas bucais.

Resposta pessoal. Veja mais informações a respeito de saúde bucal na adolescência no *site* Radis Comunicação e Saúde, da Fundação Oswaldo Cruz. Disponível em: <<http://www6.ensp.fiocruz.br/radis/conteudo/cuidado-integral-do-adolescente-comeca-pela-boca>>.

Acesso em: 10 fev. 2016.

## 2 Contando calorias

A energia liberada por um material ou alimento pode ser medida em **calorias** (cal). Quanto maior o número de calorias, mais energia o alimento pode liberar. A maioria dos alimentos apresenta milhares de calorias por grama, usando-se o múltiplo quilocaloria (kcal ou Cal).

Por outro lado, o gasto de energia de uma pessoa durante a realização de uma atividade também pode ser expresso em calorias. De modo geral, quando uma pessoa ingere uma quantidade de calorias muito superior àquelas gastas em suas atividades, a tendência é que seu corpo armazene energia na

forma de gordura e aumente sua massa corporal.

A alimentação saudável envolve a escolha de alimentos e das quantidades ingeridas, de acordo com diversos fatores, inclusive o gasto calórico diário. Observar apenas as calorias ao escolher um alimento não é uma atitude correta. Vamos comparar, como exemplo, uma bala de goma com uma banana crua. A bala, com apenas 20 gramas, possui 87 kcal, sendo sua composição praticamente apenas açúcar. Uma banana, por sua vez, possui 89 kcal, mas é rica em proteínas, carboidratos, vitaminas e sais minerais.

Escolhas inadequadas de alimentos e de suas quantidades pode levar à obesidade, uma doença crônica caracterizada pelo excesso de gordura no organismo. Uma das formas de diagnosticar a obesidade é pelo valor do índice de massa corporal (IMC), obtido pela razão entre a massa do corpo ("peso") e o valor do quadrado da altura do indivíduo. Quanto maior o IMC de uma pessoa, maior o grau de obesidade e maiores são os riscos de manifestar doenças cardiovasculares e diabetes, que podem levar à morte.

Segundo o Ministério da Saúde:

A Organização Mundial de Saúde passou a considerar a obesidade como um problema de saúde pública tão preocupante quanto a desnutrição. No Brasil, estima-se que 20% das crianças sejam obesas e que cerca de 32% da população adulta apresentem algum grau de excesso de peso, sendo 25% casos mais graves. A obesidade é um problema sério em todas as regiões do país [...].

As pesquisas indicam que o número de obesos é maior nas áreas urbanas e que também está relacionado ao poder aquisitivo das famílias. Quanto maior a renda, maiores são os índices de obesidade ocasionados pelo alto consumo de alimentos processados (*fast food*). Em populações de baixa renda, a obesidade pode ocorrer pela falta de informações sobre nutrição. Além dos hábitos alimentares, fatores genéticos estão envolvidos em muitos casos de obesidade. A sensação de saciedade resulta da liberação de algumas substâncias em nosso organismo e pessoas com deficiência na síntese desses mensageiros químicos tornam-se obesas.

O tratamento para a obesidade deve incluir a orientação de médicos, nutricionistas e, muitas vezes, apoio psicológico à pessoa e sua família.

O comer compulsivo, que pode levar à obesidade, é um **transtorno alimentar**, assim como a bulimia nervosa e a anorexia nervosa. Os transtornos ou distúrbios alimentares também se tornaram mais frequentes na população brasileira em décadas recentes, atingindo principalmente adolescentes e jovens.

A anorexia caracteriza-se pela recusa em comer, geralmente associada à uma distorção da autoimagem corporal e a preocupação em manter o corpo excessivamente magro. As pessoas com anorexia nervosa apresentam perda de peso e IMC muito baixo, relacionado ao risco de morte por enfraquecimento muscular, incluindo o coração.

A bulimia é um transtorno no qual a pessoa alterna episódios de compulsão alimentar com métodos para eliminar o alimento ingerido. A doença pode causar problemas cardiovasculares e no sistema digestório.

Nos transtornos alimentares, é comum que os pacientes passem os dias preocupados com o que vão comer, contando calorias e deixando de aproveitar o sabor e o prazer de se alimentar. Por isso, são condições que podem levar à depressão. Mas existe tratamento, e o primeiro passo é reconhecer o problema e pedir ajuda. Médicos, psicólogos e nutricionistas podem traçar um plano de recuperação rumo a uma relação saudável com os alimentos.

Fontes:

ESCOLA PAULISTA DE MEDICINA, UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO PAULO. *Tabela de composição química dos alimentos*. Departamento de Informática em Saúde. Disponível em: <<http://www.dis.epm.br/servicos/nutri/public/alimento>>.

INSTITUTO DE PSIQUIATRIA, HOSPITAL DAS CLÍNICAS DA FMUSP. Transtornos alimentares: o que são? Disponível em: <<http://www.ambulim.org.br/TranstornosAlimentares/OqueSao>>.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Obesidade e desnutrição. Disponível em: <[http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/obesidade\\_desnutricao.pdf](http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/obesidade_desnutricao.pdf)>.

Acessos em: 23 fev. 2016.



## DEPOIS DA LEITURA...

Veja comentários a respeito das questões no Manual.

- Com seus colegas, reúna informações a respeito dos padrões de beleza para homens e mulheres em épocas passadas e mais recentemente, em diferentes culturas.
- Discutam a influência das imagens veiculadas pela mídia na autoestima e no desenvolvimento de transtornos alimentares em jovens. Após a discussão, vocês podem elaborar cartazes ou cenas de teatro sobre o assunto. Apresentem aos outros alunos da escola.

## Revedo e aplicando conceitos

1. Resposta pessoal. Veja informações no Manual.

1. Observe o rótulo ou a embalagem de um alimento industrializado, como salsicha, achocolatado, farinha, manteiga etc. Leia com atenção a tabela de informação nutricional e copie em seu caderno os nutrientes relacionados com o produto. Depois escreva o que ocorre com cada um desses nutrientes no sistema digestório humano, desde o momento de sua ingestão.

2. Se você colocar, em um copo, água até a metade do volume e depois adicionar uma colher de óleo de cozinha, observará que o óleo não se mistura com a água, mesmo mexendo bem com a colher. Faça essa mistura em um copo transparente e adicione uma colher de detergente líquido, misturando bem.

2. a) O óleo assume a forma de pequenas gotas.

- a. O que você observou após a adição do detergente?

2. b) A bile provoca processo semelhante nos lipídios, o que

- b. Relacione o que você observou com a ação da bile sobre o alimento que chega ao duodeno.

► aumenta a superfície exposta à ação das enzimas lipases.

3. Considere um experimento feito em um laboratório por técnicos especializados. Três tubos de ensaio com os seguintes conteúdos foram preparados pelos técnicos:

Tubo 1 = água e pedaços de batata

Tubo 2 = saliva e pedaços de batata

Tubo 3 = saliva e água

3. b) Considerando que o ótimo de temperatura para a ação da ptialina é 37 °C, a 20 °C sua

atividade seria reduzida e a 60 °C seria nula, pois ocorreria desnaturação da enzima.

**Não realize esse experimento em sua escola sem a presença e orientação de seu professor.**

- a. Considerando que os três tubos foram colocados em temperatura de 37 °C, em qual(is) tubo(s) seria observada a reação de digestão, após algumas horas? Justifique.

3. a) Tubo 1: não ocorreria digestão do amido. Tubo 2: ocorreria digestão do amido. Tubo 3: não haveria digestão.

- b. O que aconteceria aos resultados observados se os tubos fossem submetidos às temperaturas de 20 °C e 60 °C? Justifique.

4. Não ocorreria reação em tubo algum, pois a ptialina perde sua atividade em ambiente ácido.

4. Considere o experimento descrito na questão 3. Em uma segunda etapa do experimento, foi adicionada a cada um dos três tubos uma certa quantidade de ácido clorídrico. Você acha que haveria diferença nos resultados obtidos, em comparação com o que você respondeu anteriormente? Por quê?

5. Poderiam ocorrer lesões no duodeno devidas à acidez do quimo proveniente do estômago.

5. A bile e o suco pancreático contêm bicarbonato de sódio, substância que confere às soluções um pH básico. O que aconteceria a um indivíduo que não liberasse quantidades adequadas de bicarbonato nessas secreções?

6. Qual é a importância do consumo de fibras vegetais (celulose), se o organismo humano não sintetiza a enzima que promove a digestão desse tipo de carboidrato?

6. As fibras intensificam o peristaltismo intestinal e são fundamentais na formação de fezes, pois promovem a retenção de água nas mesmas.

7. O aluno pode consultar a tabela da página 69 e citar consequências como: desregulação da contração muscular, problemas na coagulação do sangue, anemia ferropriva etc.

7. Certos produtos anunciados como “emagrecedores” possuem efeito diurético, ou seja, estimulam a produção de urina, e laxativo, causando irritações na mucosa intestinal que podem levar à diarreia. Com isso, a pessoa pode perder grandes quantidades de água e também de sais minerais, que seriam absorvidos no intestino delgado. Cite algumas consequências da perda excessiva de sais minerais para o organismo.

8. No século XVI, época das grandes navegações, era comum a “praga dos marinheiros”, cujos sintomas incluíam sangramentos na gengiva, descamação da pele e, em alguns casos, morte do indivíduo. Por cerca de 200 anos, foi considerada um mistério incurável até que, em 1747, o médico inglês James Lind realizou alguns testes para descobrir a causa daqueles sintomas. Para isso, selecionou alguns marinheiros afetados, organizou-os em grupos e receitou que cada grupo recebesse, além de suas refeições rotineiras, um determinado suplemento alimentar:

- Grupo 1: duas laranjas ou um limão;
- Grupo 2: vinagre (ácido acético);
- Grupo 3: água do mar;
- Grupo 4: uma mistura de medicamentos, entre outros tratamentos;
- Grupo 5: sem tratamento, apenas observação.

Depois de uma semana, o grupo tratado com laranja ou limão mostrou uma melhora surpreendente, enquanto os outros continuaram doentes.

- a. O que era a “praga dos marinheiros”?

8. a) Escorbuto, causado por deficiência na ingestão de vitamina C.

- b. Explique por que os marinheiros que receberam laranjas ou limões recuperaram-se da doença.

8. b) São frutas ricas em vitamina C.

- c. Cite uma verdura ou fruto comum na região onde você mora que poderia combater a doença mencionada.

8. c) Resposta pessoal. Exemplos: acerola, maracujá, vegetais de folhas escuras.

## Trabalhando com gráficos

9. Veja na página a seguir o esboço de um gráfico hipotético, que compara a velocidade de reação entre proteínas e água, resultando na formação de peptídeos, na ausência (A) e presença (B) de proteases.

- a. Cite duas enzimas que realizam essa reação no sistema digestório humano, bem como o local de síntese e as condições ideais de atividade para cada uma dessas enzimas.

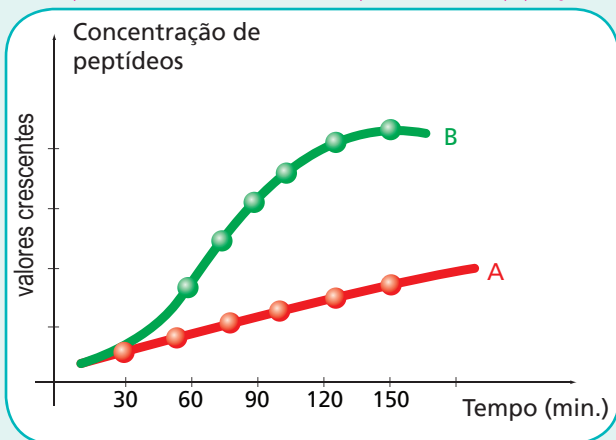
- b. Analisando o gráfico, explique por que as enzimas permitem a digestão relativamente mais rápida dos alimentos.

9. b) Porque diminuem a energia de ativação.

9. a) Pepsina e tripsina, ambas com ótimo de temperatura de 37 °C. Pepsina: produzida no estômago, atua em pH fortemente ácido. Tripsina: produzida no pâncreas, atua em pH levemente básico.

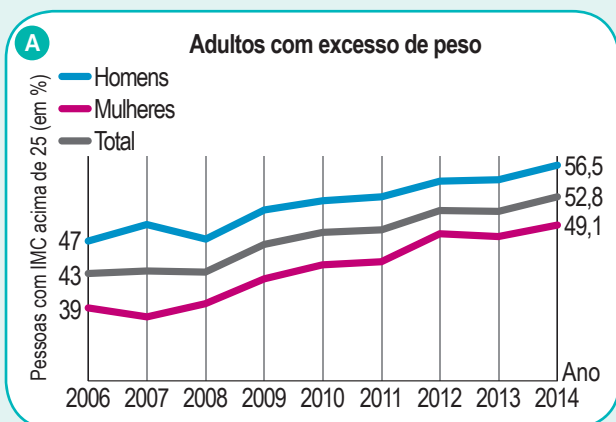


10. a) A análise do gráfico mostrando os casos de obesidade no Brasil indica uma tendência ao aumento no número de pessoas obesas na população.  
10. b) Os dados obtidos no Brasil estão em concordância com os dados mundiais, ambos apresentando aumento no número de pessoas obesas na população.



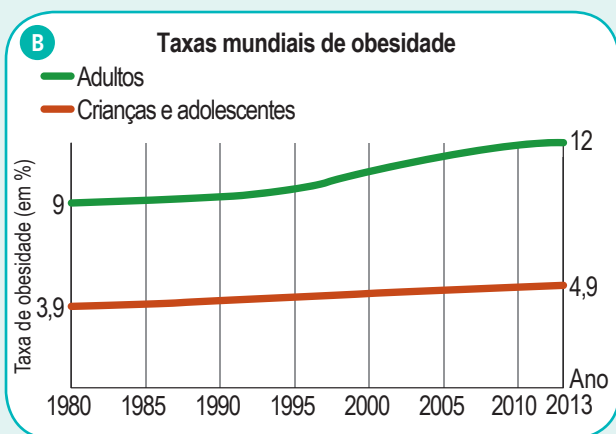
Maps World/Arquivo da editora

10. Analise os gráficos a seguir, que mostram o número de pessoas obesas no Brasil e os casos de obesidade entre crianças e adolescentes no mundo, ao longo do tempo.



Eduardo Borges/Arquivo da editora

Fonte: MINISTÉRIO DA SAÚDE. Vigitel Brasil 2014. Disponível em: <<http://portalsaude.saude.gov.br/images/pdf/2015/abril/15/PPT-Vigitel-2014-.pdf>>. Acesso em: 24 fev. 2016.



Eduardo Borges/Arquivo da editora

Fonte: Institute for Health Metrics and Evaluation. *The Wall Street Journal*. 30 maio 2014. Disponível em: <<http://blogs.wsj.com/indiarealtime/2014/05/30/indias-diversity-demonstrates-the-economics-of-obesity/>>. Acesso em: 24 fev. 2016.

10. d) Resposta pessoal. As propagandas que incentivam o consumo de alimentos processados, pobres em nutrientes, é um dos fatores que facilitam a obesidade. A informação sobre alimentação saudável é fundamental para reverter esse quadro.

a. Com base no gráfico (A) é possível identificar se o número de casos de obesidade no Brasil possui a tendência de aumentar, diminuir ou estabilizar? Justifique sua resposta.

b. Compare a situação observada em nosso país (A) com os dados obtidos para a população mundial (B).

10. c) O IMC é o índice de massa corporal, uma relação entre o peso e a altura. A obesidade é uma

c. O que é IMC e o que é obesidade? doença crônica causada pelo acúmulo de gordura no organismo.

d. Converse com um colega a respeito de fatores culturais e socioeconômicos que possam explicar os resultados mostrados nos gráficos, e que ações podem reverter os dados.

e. Pessoas obesas são muitas vezes vítimas de preconceitos e exclusão social. Com seu colega, elabore um argumento ou uma informação importante para combater esse preconceito. Compartilhe com seus colegas e ouça as opiniões deles.

10. e) Resposta pessoal. A obesidade é uma doença e as pessoas obesas possuem os mesmos direitos de qualquer cidadão.

## Ciência, Tecnologia e Sociedade

11. É muito fácil encontrar receitas de regimes alimentares milagrosos em jornais e revistas. Esse tipo de assunto atrai muitas pessoas, certamente incentivadas por uma sociedade que considera a magreza um atributo de beleza. No entanto, regimes sempre devem ser prescritos e supervisionados por médicos e nutricionistas.

11. a) Falta de energia (fadiga), perda de massa muscular.

a. Quais poderiam ser as consequências de um regime alimentar com restrição severa de carboidratos?

b. Quais poderiam ser as consequências de um regime alimentar baseado no consumo exagerado de proteínas?

11. b) O excesso de proteínas pode ser convertido em gordura, além de prejudicar os rins pela produção excessiva de excretas nitrogenadas.

c. O que é uma dieta balanceada? Qual é a sua opinião a respeito de dietas para emagrecer publicadas em revistas? Que alertas devem ser dados aos leitores dessas revistas?

12. Veja informações no Manual.

12. O que são alimentos orgânicos? Como são produzidos? Quais são as vantagens e as desvantagens do consumo de orgânicos? Com base nessas questões, reúna-se com sua equipe e produzam uma reportagem, em texto ou vídeo, sobre o tema. Vocês podem entrevistar pessoas da cidade, produtores rurais e vereadores. Com as reportagens de todas as equipes, realizem um debate reunindo e discutindo as informações obtidas pela turma.

11. c) A dieta balanceada é rica em fibras, verduras e frutas, pobre em açúcares e frituras, e provê o organismo com os nutrientes necessários.

## Questões do Enem e de vestibulares

- 13.** (Enem-2015) Uma enzima foi retirada de um dos órgãos do sistema digestório de um cachorro e, após ser purificada, foi diluída em solução fisiológica e distribuída em três tubos de ensaio com os seguintes conteúdos:

- Tubo 1: carne
- Tubo 2: macarrão
- Tubo 3: banha

Em todos os tubos foi adicionado ácido clorídrico (HCl), e o pH da solução baixou para um valor próximo a 2. Além disso, os tubos foram mantidos por duas horas a uma temperatura de 37 °C. A digestão do alimento ocorreu somente no tubo 1. De qual órgão do cachorro a enzima foi retirada?

- a. Fígado.
- b. Pâncreas.
- c. Estômago. **13. c**
- d. Vesícula biliar.
- e. Intestino delgado.

- 14.** (Enem-2014) Na década de 1940, na região do Centro-Oeste, produtores rurais, cujos bois, porcos, aves e cabras estavam morrendo por uma peste desconhecida, fizeram uma promessa, que consistiu em não comer carne e derivados até que a peste fosse debelada. Assim, durante três meses, arroz, feijão, verduras e legumes formaram o prato principal desses produtores.

*O Hoje*, 15 out. 2011 (adaptado).

Para suprir o déficit nutricional a que os produtores rurais se submeteram durante o período da promessa, foi importante eles terem consumido alimentos ricos em

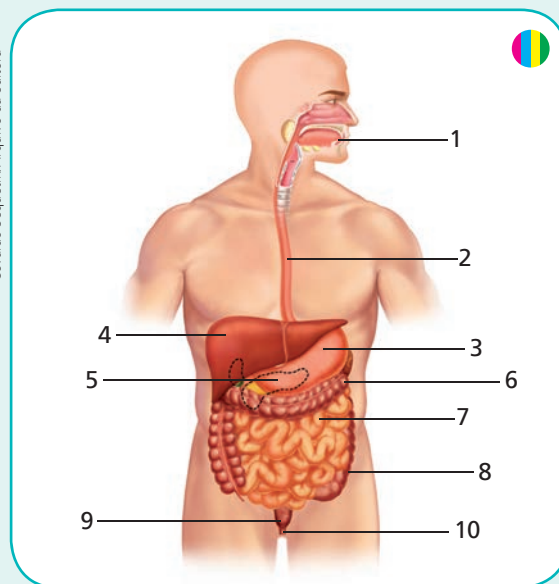
- a. vitaminas A e E.
  - b. frutose e sacarose.
  - c. aminoácidos naturais.
  - d. aminoácidos essenciais. **14. d**
  - e. ácidos graxos saturados.
- 15.** (Enem-2014) Um pesquisador percebe que o rótulo de um dos vidros em que guarda um concentrado de enzimas digestivas está ilegível. Ele não sabe qual enzima o vidro contém, mas desconfia de que seja uma protease gástrica, que age no estômago digerindo proteínas. Sabendo que a digestão no estômago é

ácida e no intestino é básica, ele monta cinco tubos de ensaio com alimentos diferentes, adiciona o concentrado de enzimas em soluções com pH determinado e aguarda para ver se a enzima age em algum deles.

O tubo de ensaio em que a enzima deve agir para indicar que a hipótese do pesquisador está correta é aquele que contém

- a. cubo de batata em solução com pH = 9.
  - b. pedaço de carne em solução com pH = 5.
  - c. clara de ovo cozida em solução com pH = 9. **15. b**
  - d. porção de macarrão em solução com pH = 5.
  - e. bolinha de manteiga em solução com pH = 9.
- 16.** (UFG-GO) O processo de digestão é fundamental para a transformação dos alimentos em moléculas menores que podem ser absorvidas e utilizadas para a obtenção da energia necessária às funções vitais.
- a. De acordo com a figura a seguir, identifique e nomeie as estruturas responsáveis direta ou indiretamente pela digestão e absorção de lipídios.
- 16. a) Consulte o Manual.**

Oswaldo Sequeitir/Arquivo da editora



- b. Descreva a atuação de duas enzimas sobre a digestão de proteínas e de carboidratos, respectivamente. **16. b) Consulte o Manual.**
- 17.** (UERJ) A bile, secretada pelo fígado e armazenada pela vesícula biliar, faz parte do processo de digestão de alimentos em seres humanos. Cite o tipo de alimento sobre o qual a bile age e a enzima que o digere. Em seguida, explique como a bile facilita a ação dessa enzima.

**17.** Lipídios; lipase. A bile emulsiona os lipídios, gerando gotículas, o que aumenta a superfície exposta à ação enzimática.

## 18. (Enem-2006)

Maps World/Arquivo da editora

DIETA DE ENGORDA			
Em 30 anos, a alimentação piorou muito			
AUMENTO NO CONSUMO – POR FAMÍLIA			
biscoitos	refrigerantes	salsichas e linguiças	refeições prontas
400%	400%	300%	80%
			
DIMINUIÇÃO NO CONSUMO – POR FAMÍLIA			
ovos	peixes	feijão e leguminosas	arroz
84%	50%	30%	23%
			

Época, maio 2006 (com adaptações).

A partir desses dados, foram feitas as afirmações abaixo.

- I. As famílias brasileiras, em 30 anos, aumentaram muito o consumo de proteínas e grãos, que, por seu alto valor calórico, não são recomendáveis.
- II. O aumento do consumo de alimentos muito calóricos deve ser considerado indicador de alerta para a saúde, já que a obesidade pode reduzir a expectativa de vida humana.
- III. Doenças cardiovasculares podem ser desencadeadas pela obesidade decorrente das novas dietas alimentares.

É correto apenas o que se afirma em:

- a. I
- b. II
- c. III
- d. I e II
- e. II e III <sup>18. e</sup>

19. (Enem-2005) A obesidade, que nos países desenvolvidos já é tratada como epidemia, começa a preocupar especialistas no Brasil. Os últimos dados da Pesquisa de Orçamentos Familiares, realizada entre 2002 e 2003 pelo IBGE, mostram que 40,6% da população brasileira estão acima do peso, ou seja, 38,8 milhões de adultos. Desse total, 10,5 milhões são considerados obesos. Várias são as dietas e os remédios que

prometem um emagrecimento rápido e sem riscos. Há alguns anos foi lançado no mercado brasileiro um remédio de ação diferente dos demais, pois inibe a ação das lipases, enzimas que aceleram a reação de quebra de gorduras. Sem serem quebradas elas não são absorvidas pelo intestino, e parte das gorduras ingeridas é eliminada com as fezes. Como os lipídios são altamente energéticos, a pessoa tende a emagrecer. No entanto, esse remédio apresenta algumas contraindicações, pois a gordura não absorvida lubrifica o intestino, causando desagradáveis diarreias. Além do mais, podem ocorrer casos de baixa absorção de vitaminas lipossolúveis, como as A, D, E e K, pois

- a. essas vitaminas, por serem mais energéticas que as demais, precisam de lipídios para sua absorção.
- b. a ausência dos lipídios torna a absorção dessas vitaminas desnecessária.
- c. essas vitaminas reagem com o remédio, transformando-se em outras vitaminas.
- d. as lipases também desdobram as vitaminas para que essas sejam absorvidas.
- e. essas vitaminas se dissolvem nos lipídios e só são absorvidas junto com eles.

20. (Enem-2013) As serpentes que habitam regiões de seca podem ficar em jejum por um longo período de tempo devido à escassez de alimento. Assim, a sobrevivência desses predadores está relacionada ao aproveitamento máximo dos nutrientes obtidos com a presa capturada. De acordo com essa situação, essas serpentes apresentam alterações morfológicas e fisiológicas, como o aumento das vilosidades intestinais e a intensificação da irrigação sanguínea na porção interna dessas estruturas.

A função do aumento das vilosidades intestinais para essas serpentes é maximizar o(a):

- a. comprimento do trato gastrointestinal para caber mais alimento.
- b. área de contato com o conteúdo intestinal para absorção dos nutrientes. <sup>20. b</sup>
- c. liberação de calor via irrigação sanguínea para controle térmico do sistema digestório.
- d. secreção de enzimas digestivas para aumentar a degradação proteica no estômago.
- e. processo de digestão para diminuir o tempo de permanência do alimento no intestino.



# Respiração, circulação e excreção



## 1 Introdução

A respeito da atividade prática, é importante verificar se todos os alunos têm condições de realizar os exercícios físicos propostos e elaborar modos de todos se envolverem com a atividade. Veja mais comentários no Manual.

Vimos no capítulo anterior que os nutrientes resultantes da digestão do alimento são transportados pelo sangue, chegando assim às células do organismo humano. Nas células, nutrientes como a glicose são consumidos na respiração celular aeróbia, que utiliza gás oxigênio e resulta na formação de água e gás carbônico, com liberação de energia.

O gás oxigênio é obtido do ar atmosférico, onde o gás carbônico é eliminado. O transporte desses gases no corpo também é feito pelo sangue, sendo possível perceber a relação direta entre a respiração e a circulação sanguínea.

Antes de prosseguir o estudo da respiração, sugerimos a atividade prática a seguir.



### ATIVIDADE PRÁTICA

#### ! ALERTA

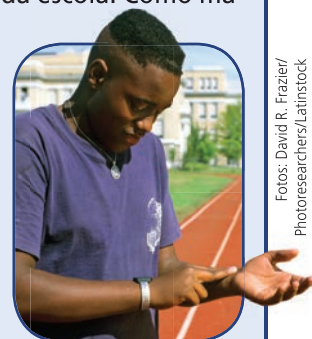
A atividade deve ser feita apenas sob a supervisão do professor.

#### A frequência cardíaca e a atividade física

A **frequência cardíaca** corresponde ao número de batimentos cardíacos por unidade de tempo e pode ser medida pela **pulsção**. Os valores de frequência cardíaca variam de acordo com idade, altura, massa corporal, sexo e nível de atividade física. Sob orientação dos professores de Biologia e de Educação Física, faça a atividade a seguir, que deve ser realizada em um espaço amplo, como o pátio da escola. Como material, é necessário um relógio ou cronômetro.

#### < Procedimentos >

1. Escolha uma região do corpo para determinar sua pulsção (veja as fotos ao lado). Relaxe durante cinco minutos, na posição sentada. Enquanto um colega marca o intervalo de tempo de um minuto, conte quantos pulsos você percebe no local escolhido. Anote o resultado. Em seguida, será a vez de seu colega contar a pulsção dele, enquanto você marca o tempo.
2. Repita o procedimento nas situações propostas por seu professor de Educação Física, tais como: deitado, após uma breve caminhada, após um exercício físico. Anote os valores de sua pulsção em cada caso.



Fotos: David R. Frazier/  
Photoresearchers/Latinstock

#### < Interpretando os resultados >

- a. Organize os dados obtidos na forma de uma tabela e elabore uma explicação para os resultados.
- b. Compare os seus resultados com os de seus colegas. Converse com o professor de Educação Física para saber se as variações podem ser consideradas normais, e por quê. Descubra também por que é importante manter a frequência cardíaca dentro de certos limites durante uma atividade física.
- c. Faça uma pesquisa e responda: qual é a relação entre batimentos cardíacos, pulsção, frequência cardíaca e frequência respiratória?

a) O resultado esperado é: quanto mais intensa a atividade física, maiores os valores de pulsção. Veja mais informações no Manual.

b) Resposta pessoal.

c) Quanto maior o ritmo dos batimentos cardíacos, maior é a pulsção. A frequência cardíaca corresponde aos batimentos do coração por unidade de tempo e quanto mais intensa for, maior será a frequência respiratória. Veja mais comentários no Manual.

## 2 Sistema respiratório

O termo **respiração** é usado para se referir à função do sistema respiratório: a inspiração (entrada de ar nos pulmões) e a expiração (saída de ar dos pulmões). É usado também para designar o processo de liberação de energia que ocorre por reações dentro da célula. Neste caso, fala-se em respiração celular.

No sistema respiratório, ocorrem as trocas gasosas entre os pulmões e o sangue que ali circula. O gás oxigênio, presente no ar que entra nos pulmões, se difunde para o interior de vasos sanguíneos, ocorrendo a difusão do gás carbônico na direção inversa, ou seja, do sangue para os pulmões e destes para o ar.

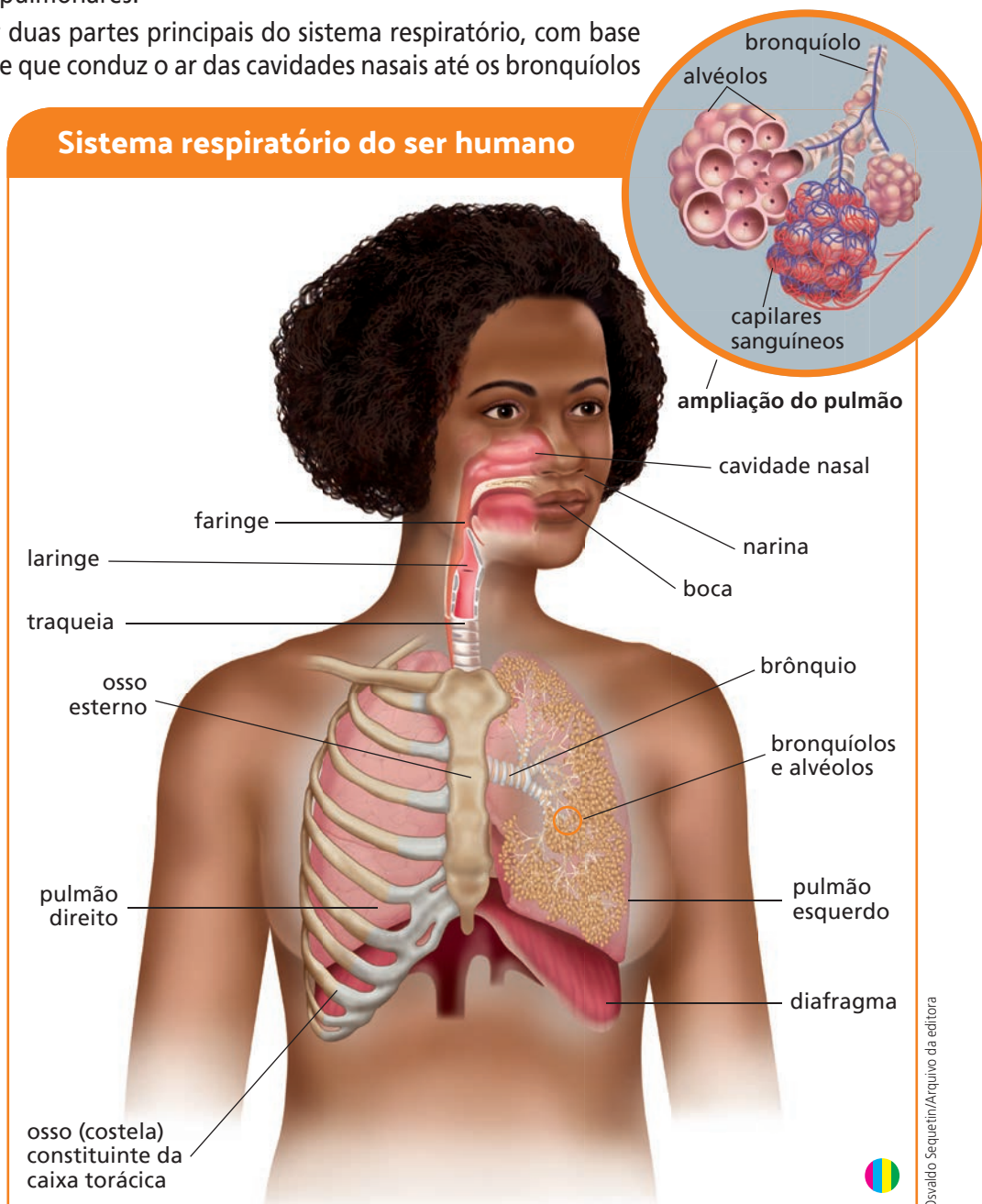
A entrada do ar no **sistema respiratório** do ser humano acontece pelo seguinte caminho: narinas, cavidades (fossas) nasais, faringe, laringe, traqueia, brônquios, bronquíolos e alvéolos pulmonares.

Podemos considerar duas partes principais do sistema respiratório, com base em suas funções: a parte que conduz o ar das cavidades nasais até os bronquíolos e a parte constituída pelos alvéolos pulmonares, onde ocorrem as trocas gasosas.

Os **pulmões** são órgãos esponjosos e elásticos, formados por milhões de alvéolos que se enchem de ar. Os pulmões são protegidos pela **caixa torácica**, formada por um conjunto de ossos e cartilagens, e também pela musculatura esquelética associada a ela. O tórax separa-se do abdômen por uma estrutura muscular, o **diafragma**. Uma membrana chamada **pleura** envolve cada pulmão e o mantém aderido à parede da caixa torácica. O pulmão esquerdo é pouco menor que o pulmão direito; o coração, que também se localiza na caixa torácica, fica ligeiramente voltado para a esquerda e parcialmente encaixado no pulmão esquerdo.

✓ Esquema dos órgãos que compõem o **sistema respiratório do ser humano**.

Algumas estruturas estão representadas em corte e em vista lateral. No lado esquerdo não foi representada a caixa torácica, para melhor visualização do pulmão.



## 2.1 Inalação do ar



### PENSE E RESPONDA

Refleta e responda em seu caderno: o que acontece ao ar que chega aos nossos pulmões quando respiramos pela boca?

O ar não é aquecido e as partículas de poeira não são retiradas, além de não haver percepção de odores.

A inalação do ar corresponde à entrada do ar nas vias aéreas, e faz parte da inspiração, que estudaremos mais adiante.

Ao entrar no nariz e passar pelas **cavidades nasais**, o ar é aquecido e umedecido, condições importantes para que ocorram as trocas gasosas com maior eficiência, nos alvéolos pulmonares. Além disso, o ar é filtrado por pequenos pelos presentes nas cavidades nasais, o que impede a entrada de partículas nas vias respiratórias seguintes. As partículas ficam retidas na camada de muco que reveste as cavidades nasais; as células epiteliais possuem cílios que, com seus batimentos, conduzem o muco à faringe, de onde é deglutido. Nas cavidades nasais também ocorre a percepção dos odores de substâncias presentes no ar.

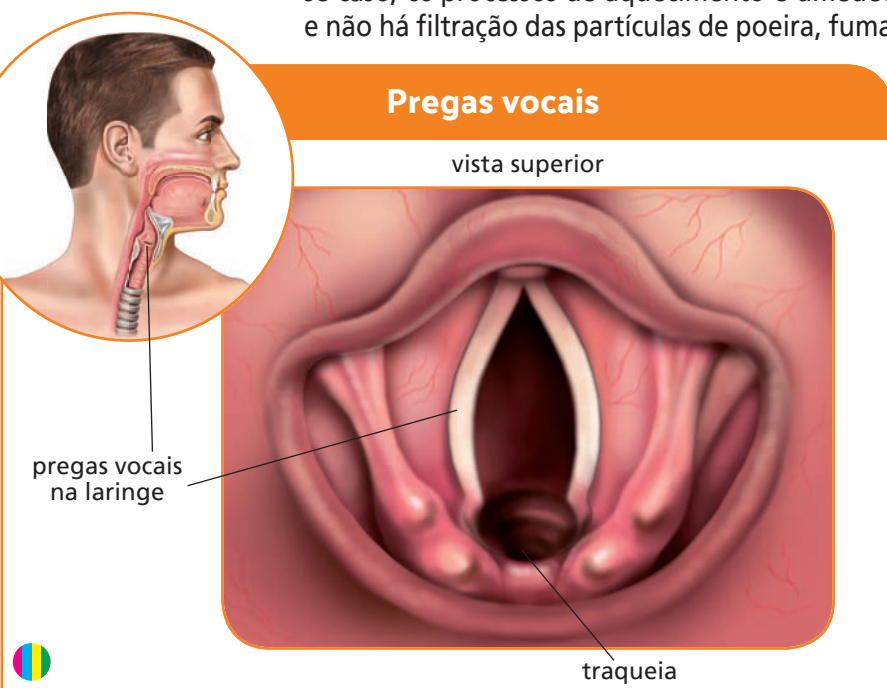
As cavidades nasais comunicam-se com a **faringe**, que se mantém aberta permitindo a passagem de ar para a laringe e traqueia durante a respiração; essa comunicação se fecha durante a deglutição.

O ar também pode entrar no organismo e dele sair pela boca. No entanto, nesse caso, os processos de aquecimento e umedecimento do ar ficam incompletos e não há filtração das partículas de poeira, fumaça, grãos de pólen, entre outras.

A **laringe** corresponde a uma região anterior à traqueia, onde se localizam as **pregas vocais** (cordas vocais). Elas são formadas por ligamentos elásticos e musculatura associada. Durante a fala ou o canto, quando o ar sai dos pulmões e passa pelas pregas vocais, elas vibram. Essa vibração é transmitida ao ar, formando ondas sonoras.

A **traqueia** é um tubo que, em sua porção terminal, se ramifica em dois brônquios. As paredes da traqueia não sofrem colapso, o que impediria a passagem do ar, pois existem anéis de cartilagem que se estendem ao redor do canal, por quase todo o seu diâmetro, mantendo-o aberto.

Os **brônquios** direito e esquerdo também possuem anéis de cartilagem e sofrem ramificações, gerando canais com diâmetros cada vez menores. Os canais de menor calibre são chamados **bronquíolos**; eles terminam nos **alvéolos**, pequenos sacos de finas paredes nos quais ocorrem as trocas gasosas.



Esquema ilustrando as **pregas vocais**, que se localizam na parte interna da laringe.



### CURIOSIDADE

#### Por que existem vozes graves e agudas?

As características da voz de uma pessoa dependem de suas pregas vocais, da força com que o ar passa por elas e também pela boca e pelo nariz. Quando a porção vibratória das pregas vocais é maior, entre 11,5 mm e 16 mm de comprimento, as vozes são mais graves. As vozes finas resultam de pregas vocais menores, com 8 mm a 11,5 mm. Uma mesma pessoa pode produzir sons mais graves ou mais agudos, realizando maior ou menor tensão na região das cordas vocais. Sob maior tensão, por exemplo, as pregas vocais se esticam e vibram mais rapidamente, gerando um som agudo.

Para manter a voz e não prejudicar as cordas vocais, é preciso manter-se hidratado ao longo do dia, alimentar-se de modo saudável, não fumar e não gritar.

A fonação, ou produção do som, é um tema interessante para aprofundamento. Saiba mais em: <http://projetoquemvirtual.org.br/seriejuventude/Fonacao.pdf>. Acesso em: 24 fev. 2016.



Da traqueia aos bronquíolos existe um epitélio ciliado produtor de muco, que retém partículas menores que tenham escapado da filtração no nariz. O batimento ciliar, neste caso, conduz o muco contendo as partículas para cima, na direção da faringe, ocorrendo a deglutição do material.

No tecido pulmonar existem também os **macrófagos**, que são células do sistema imunológico que englobam bactérias e partículas de sujeira.

### Alerta: o cigarro e o sistema respiratório

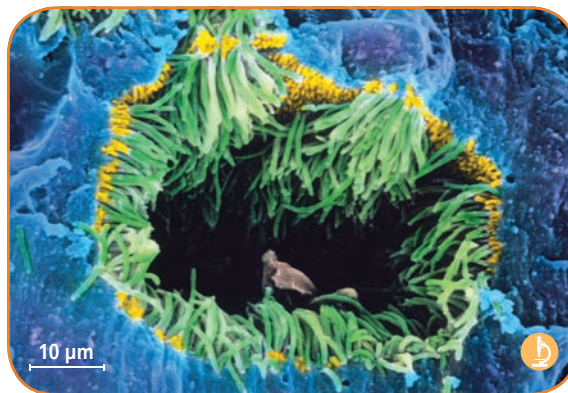
As substâncias tóxicas contidas no cigarro destroem os macrófagos e as células ciliadas da traqueia, que, então, são substituídas por outro tipo celular. Os pulmões do fumante ficam mais vulneráveis a infecções e o sistema respiratório passa a produzir mais muco, em processo natural de proteção; ocorre inflamação crônica nas paredes dos brônquios, como reação ao contato constante com as substâncias contidas no cigarro, causando bronquite crônica. O excesso de muco pode causar tosse e dificuldade de respirar. É comum em pessoas que fumam há muitos anos o rompimento de alvéolos pulmonares, causando diminuição da capacidade respiratória e caracterizando o enfisema pulmonar.

Além disso, muitas substâncias contidas no cigarro são cancerígenas, ou seja, podem alterar o ritmo de divisão das células, originando tumores. Os fumantes e as pessoas que convivem com a fumaça do cigarro possuem maiores chances de desenvolver câncer, não apenas nos pulmões ou nas vias respiratórias, mas em outras partes do organismo também.

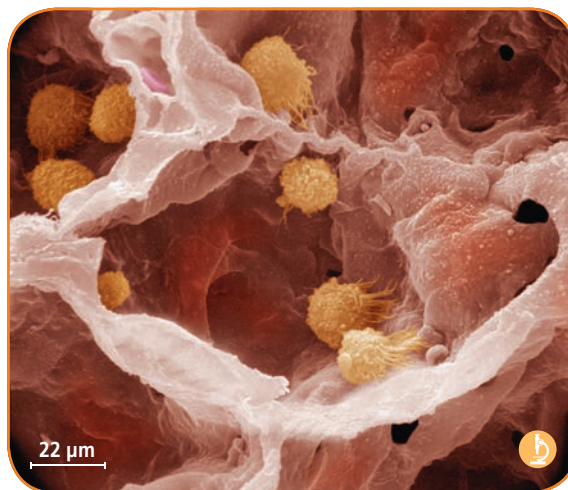
As informações mencionadas são válidas para qualquer tipo de fumo, inclusive narguilé que, segundo o Ministério da Saúde, equivale a fumar 100 cigarros comuns de uma única vez.

No Brasil, os fumantes encontram apoio em institutos e hospitais públicos para deixar o vício, pelo Sistema Único de Saúde (SUS). Em apenas 5 dias sem fumar, o organismo elimina o excesso de gás carbônico e a nicotina que circulam no sangue, a pressão sanguínea abaixa, retornando a um patamar saudável, e as percepções de olfato e paladar melhoram. Em um ano livre do vício, o ex-fumante tem risco reduzido de problemas cardiovasculares em comparação com fumantes.

Melhor do que parar de fumar, é nunca começar. Os fumantes passivos, aqueles que não fumam, mas convivem com a fumaça de cigarros, também devem evitar locais malventilados e a proximidade com fumantes, pois correm o risco de desenvolver as doenças associadas ao tabagismo da mesma forma.



^ Corte histológico da **traqueia**, mostrando o revestimento ciliado (cílios em verde).



^ Interior de alvéolos pulmonares, mostrando **macrófagos** (em amarelo).



^ Campanha realizada pelo Instituto do Câncer José de Alencar Gomes da Silva (Inca) promovendo a prevenção ao tabagismo. A data 31 de maio é do **"dia mundial sem tabaco"** e faz parte das ações de conscientização e combate ao fumo.

Segundo dados do Inca divulgados em 2014, a cada ano morrem 200 mil pessoas no Brasil por doenças relacionadas ao cigarro, o que equivale a 23 mortes por hora. As internações por câncer de pulmão foram mais de 19 mil no país, em 2013. Fonte: PORTAL BRASIL. Ministério da Saúde anuncia regulamentação da Lei Antifumo. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/saude/2014/05/ministerio-da-saude-regulamenta-lei-antifumo-no-dia-mundial-sem-tabaco>>. Acesso em: 06 maio 2016.

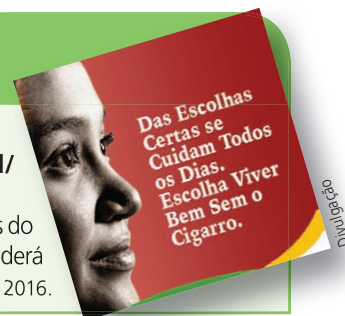


## MULTIMÍDIA

## Programa Nacional de Controle do Tabagismo – Inca

<[http://www2.inca.gov.br/wps/wcm/connect/acoess\\_programas/site/home/nobrasil/programa-nacional-controle-tabagismo](http://www2.inca.gov.br/wps/wcm/connect/acoess_programas/site/home/nobrasil/programa-nacional-controle-tabagismo)>

O Instituto Nacional do Câncer José de Alencar Gomes da Silva (Inca) traz informações sobre os malefícios do fumo, as campanhas realizadas e como parar de fumar. Em “Crianças, adolescentes e jovens”, você poderá conhecer as armadilhas da indústria do cigarro para incentivar os jovens a fumar. Acesso em: 24 fev. 2016.



Divulgação



## ATIVIDADE PRÁTICA

## Analisando a qualidade do ar

Quais são as condições do ar na região onde você mora? Existem equipamentos que fornecem medidas da concentração de diferentes gases e partículas na atmosfera, que servem de indicadores da qualidade do ar. Nesta atividade você poderá, de modo muito simplificado, inferir a respeito da qualidade do ar usando papel-filtro, que retém partículas de poeira e fuligem.

## &lt; Material necessário &gt;

- Papel-filtro (filtro de coar café);
- tesoura sem ponta;
- fio de barbante;
- sacos plásticos transparentes com fechadura hermética;
- mapa do bairro ou da cidade.

**! ALERTA**  
A atividade deve ser feita apenas sob a orientação do professor.

## &lt; Procedimentos &gt;

1. Escolha dois ou mais locais de sua residência para fazer a medida da qualidade do ar. Recorte retângulos de papel-filtro, com cerca de 12 cm × 10 cm, um para cada local escolhido.
2. Cada papel-filtro deve ser colocado no local escolhido, ficando em contato com o ar. Você pode prendê-lo ao fio e pendurá-lo no lugar escolhido (veja foto ao lado). Aguarde alguns dias e então retire cada filtro cuidadosamente, colocando cada um dentro de um saco plástico. Feche os sacos e leve-os à escola, para análise dos resultados.
3. Compare seus resultados com o de dois colegas. Em seguida, localizem no mapa do bairro ou da cidade os endereços onde foram realizadas as medições.
4. Com os dados de toda a turma, montem um cartaz com o mapa do bairro ou da cidade, indicando os pontos de medição, a qualidade do ar observada em cada um deles e possíveis fatores que expliquem os resultados obtidos.



Thiago Oliver/Acervo do fotógrafo

## &lt; Interpretando os resultados &gt;

- a. Compare o aspecto dos filtros colocados em sua residência com um filtro limpo. Houve diferença entre eles? Elabore explicações para o resultado observado.
- b. Na internet, busque informações a respeito da qualidade do ar registrada no bairro ou região onde você fez a observação. Compare os dados obtidos com o que você observou.

a) Resposta pessoal. Consulte o Manual.  
b) Resposta pessoal.

## &lt; Indo além &gt;

- Com um colega, faça uma pesquisa para descobrir quais são os principais poluentes do ar e algumas doenças relacionadas a eles. Descreva uma delas em seu caderno.
- O que poderia ser feito para manter ou melhorar a qualidade do ar em seu bairro ou cidade? Converse a respeito com seus colegas e juntos elaborem uma carta para ser encaminhada a um vereador da cidade, com as possíveis soluções para combater a poluição do ar. *Veja informações no Manual.*

Sim, o modelo representa de modo simplificado o mecanismo da ventilação pulmonar. O esquema à esquerda simula a inspiração e o da direita, a expiração. A membrana esticada representa o diafragma, o frasco representa o tórax, o balão (bexiga) representa os pulmões, e o canudo representa as vias aéreas.

## 2.2 Ventilação pulmonar

O movimento de entrada do ar nos pulmões é chamado **inspiração**, enquanto a saída de ar dos alvéolos para o meio externo é a **expiração**.

A inspiração e a expiração são resultados de dois mecanismos: os movimentos do diafragma para cima e para baixo e a elevação e o abaixamento das costelas, que formam a caixa torácica.

Na inspiração, a caixa torácica se expande devido à contração de um grupo de músculos que promove a elevação das costelas. O diafragma, localizado na base da caixa torácica, também se contrai, tracionando para baixo a região inferior dos pulmões. O resultado desses movimentos é o aumento do volume da caixa torácica e a expansão pulmonar, o que torna a pressão interna menor do que a externa, com consequente entrada de ar proveniente do ambiente.

Na expiração, os músculos responsáveis pela elevação das costelas relaxam e elas se abaixam, resultando na diminuição do volume da caixa torácica. O diafragma também relaxa, deslocando-se para cima e comprimindo os pulmões. Com a retração dos pulmões, o ar é expulso dos alvéolos e segue pelas mesmas vias pelas quais entrou: brônquios, traqueia, laringe, faringe e cavidades nasais ou boca, até ser eliminado para o ar atmosférico.

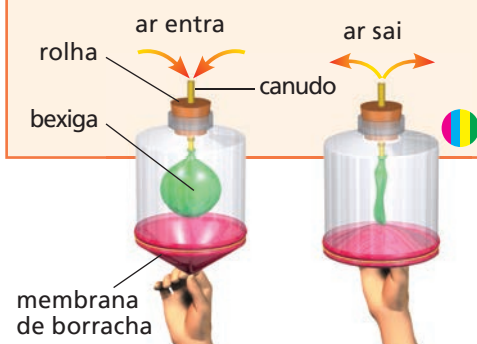
Na expiração, nem todo o ar é expulso dos pulmões, restando pequeno volume dentro dos alvéolos. Isso evita o colapso das finas paredes dos alvéolos.



### PENSE E RESPONDA

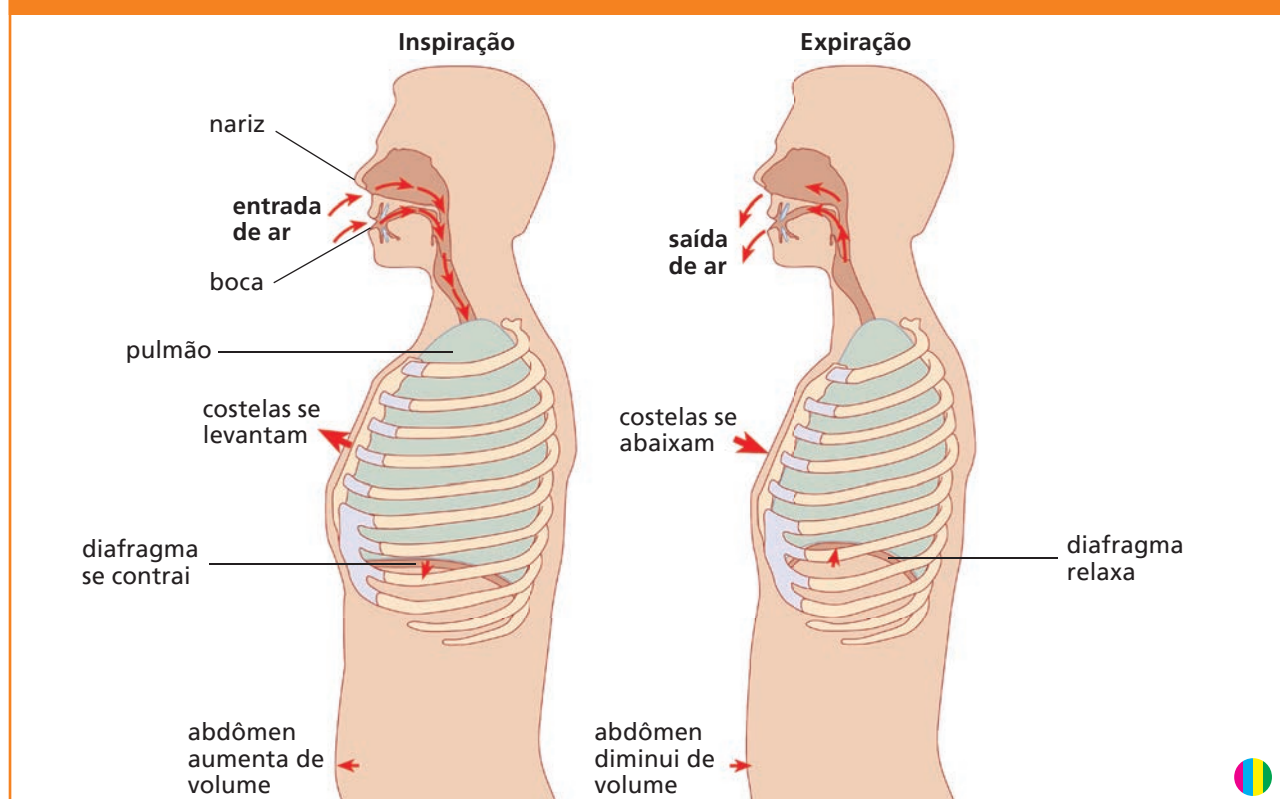
Observe o esquema abaixo, representando uma montagem feita com materiais simples: a parte de cima de uma garrafa plástica, balões de borracha, canudo e rolha.

Quando a borracha é puxada para baixo, o balão dentro da garrafa se enche de ar; o inverso ocorre quando a borracha é deslocada para cima. Analise o esquema e responda em seu caderno: este modelo retrata o processo de ventilação pulmonar? Justifique sua resposta, comparando o esquema com o processo de ventilação pulmonar e relacionando os materiais utilizados no modelo com as estruturas do sistema respiratório do ser humano.



Luis Moura/Arquivo da editora

## Ventilação pulmonar



Peter Gardiner/SP/Latinstock

Esquemas ilustrando de modo simplificado a **inspiração** e a **expiração**, indicando movimentos das costelas e do diafragma.





## RECORDE-SE

Veja a localização da medula oblonga no encéfalo na página 32.



## CURIOSIDADE

O **bocejo** é uma ação involuntária, estimulada pela medula oblonga. Ao bocejarmos, grande volume de ar é inspirado e expirado pela boca, músculos da face são contraídos, entre outras reações. Existem hipóteses de que o bocejo seja um meio de deixar o corpo mais alerta. Esse comportamento ocorre na maioria dos vertebrados.

- ✓ Esquema ilustrando a porção terminal de um bronquíolo, onde se localizam **alvéolos**. À direita, um alvéolo em corte. Observe a presença de vasos sanguíneos ao redor dessa estrutura.

## 2.3 Controle da ventilação pulmonar

A ventilação pulmonar pode ser controlada voluntariamente, como você pode perceber quando a respiração é forçada de forma consciente, acelerando ou diminuindo o ritmo respiratório. No entanto, esse controle é limitado; a manutenção da ventilação pulmonar é feita pelo centro respiratório, que exerce controle involuntário sobre as estruturas envolvidas na inspiração e expiração.

O **centro respiratório** localiza-se na medula oblonga (bulbo), região do encéfalo que se comunica com a medula espinhal. Da medula espinhal partem os nervos que transmitem os sinais emitidos pela medula oblonga. Cada sinal enviado corresponde à contração do diafragma e dos músculos envolvidos na inspiração; o intervalo entre esses sinais leva à expiração.

O centro respiratório recebe informações a respeito do pH do sangue a partir de receptores localizados na parede das grandes artérias: quanto maior a concentração de gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) no sangue, menor o pH sanguíneo, de acordo com um mecanismo que será analisado mais adiante. A queda no pH sanguíneo determina um aumento do ritmo respiratório. A concentração de gás oxigênio ( $\text{O}_2$ ) no sangue também exerce influência, apesar de pequena, no controle do ritmo respiratório pela medula oblonga.

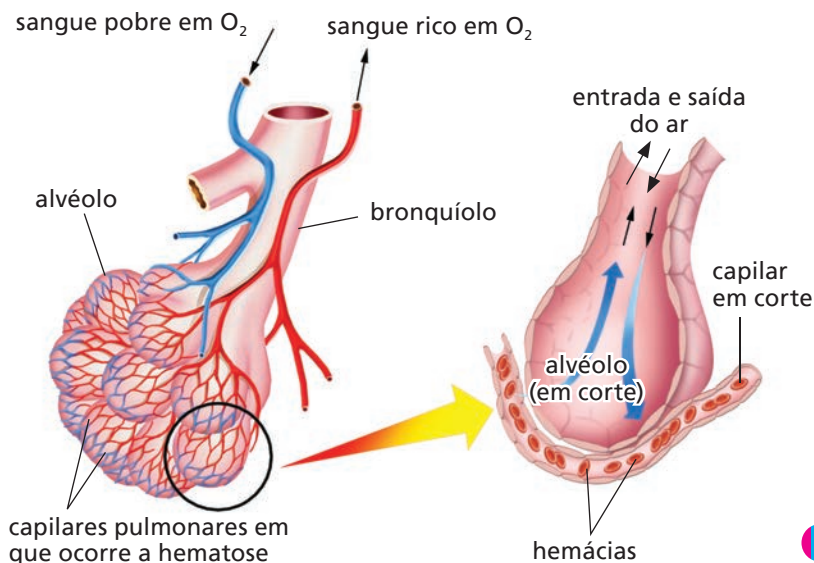
Também é o centro respiratório que controla o reflexo da tosse e do espirro. Cavidades nasais, laringe, traqueia e brônquios são regiões extremamente sensíveis e a presença de substâncias estranhas pode causar irritação. Esse estímulo é enviado ao bulbo e, como resposta, há contração violenta dos músculos que envolvem as vias respiratórias, provocando a expulsão do ar em alta velocidade pela boca (no caso da tosse) ou pelo nariz (no caso do espirro).

## 2.4 Alvéolos: superfícies de trocas gasosas

Cada pulmão possui milhões de **alvéolos**, cada um com aproximadamente 0,2 mm de diâmetro. Juntos, eles formam uma superfície respiratória total de aproximadamente 160 m<sup>2</sup> em um indivíduo adulto. As paredes dos alvéolos são extremamente finas e revestidas internamente por um líquido. Estas são características importantes de uma superfície respiratória: ser pouco espessa e úmida, permitindo assim a difusão dos gases.

Os alvéolos são envolvidos externamente por vasos sanguíneos de pequeno calibre, os capilares. A intensa vascularização é outra característica das superfícies respiratórias. Dessa forma, os gases que estão no interior dos alvéolos ficam muito próximos do sangue que passa pelos capilares, ocorrendo as trocas gasosas ou **hematose**.

### Alvéolos pulmonares



## Trocas gasosas no organismo humano

O sangue que chega aos pulmões é pobre em gás oxigênio ( $O_2$ ), pois é proveniente de órgãos e tecidos que já o utilizaram na respiração celular. Também possui alta concentração de gás carbônico ( $CO_2$ ), que as células eliminam no sangue como resíduo desse mesmo processo. Ao passar pelos pulmões, o sangue torna-se rico em  $O_2$  e perde  $CO_2$ .

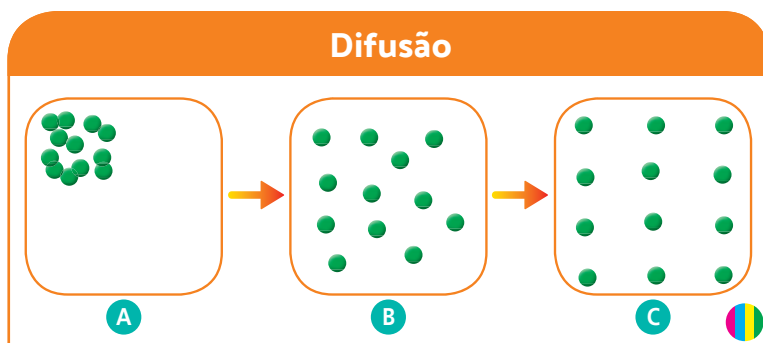
O oxigênio, assim como outros gases, tem propriedade de **difusão**. Quando exposto a soluções de diferentes concentrações de  $O_2$ , as moléculas desse gás movimentam-se mais intensamente do ambiente de maior concentração para o de menor concentração.

A **difusão** é um transporte passivo de moléculas, isto é, não demanda energia produzida pelas células para acontecer. É necessário existir um gradiente de concentração e uma membrana que permita a passagem dos gases, como é o caso da parede dos alvéolos e dos capilares.

A concentração de determinado gás no ar ou em uma solução é denominada **pressão parcial** – a pressão total é determinada pela mistura de gases ou solutos na solução. Assim, a pressão parcial de  $O_2$  é maior no ar que entra nos alvéolos do que dentro do sangue. Essa diferença na pressão parcial de  $O_2$  determina a direção da difusão: do interior dos alvéolos para o sangue dentro dos capilares. Nos tecidos ocorre difusão de oxigênio do sangue para o líquido intersticial e deste para as células, como representado na figura abaixo.

O gás carbônico difunde-se das células para o sangue. Nos pulmões, esse gás sai do sangue e entra nos alvéolos. A pressão parcial de  $CO_2$  é maior no sangue do que no ar que entra nos pulmões. Durante a expiração, o ar é eliminado com uma concentração maior de  $CO_2$ , em comparação ao ar inspirado.

✓ Esquema ilustrando a **difusão** em três momentos consecutivos: **A** (inicial), **B** e **C** (final). As moléculas de um gás estão representadas por bolinhas, de forma muito simplificada. O movimento das moléculas é da região mais concentrada para a de menor concentração.



Equipe NATH/Arquivo da editora

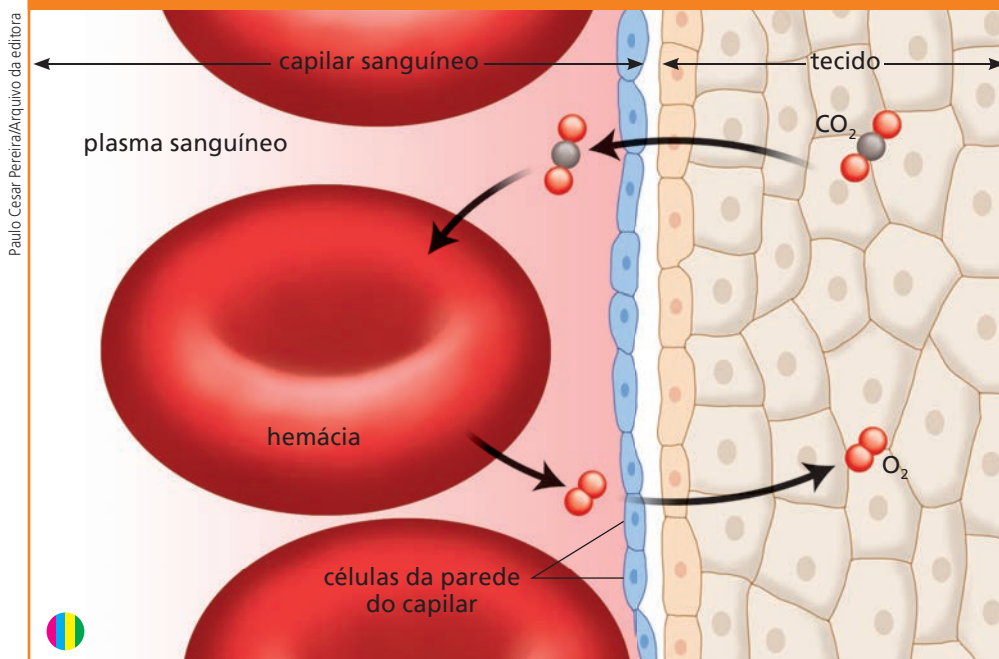


### PENSE E RESPONDA

Em seu caderno, represente esquematicamente as trocas gasosas entre alvéolos e capilares pulmonares.

Veja modelo de esquema no Manual.

## Trocas gasosas entre sangue e tecido



As figuras estão representadas em diferentes escalas.

◀ Esquema simplificado mostrando **difusão dos gases respiratórios** entre células de um tecido e o sangue, transportado por capilar sanguíneo. Nesse caso, o sangue possui, inicialmente, menor concentração de  $CO_2$  do que o tecido, e o inverso ocorre com a concentração de  $O_2$ . As moléculas foram representadas em regiões distintas apenas para facilitar o entendimento da difusão.

## 2.5 Transporte dos gases respiratórios

Praticamente todo o gás oxigênio que sai dos alvéolos e chega ao sangue é transportado no interior dos glóbulos vermelhos, também chamados eritrócitos ou hemácias, ligado a moléculas de **hemoglobina**, formando a chamada **oxiemoglobina**. Uma pequena parte de  $O_2$  é transportada dissolvida no plasma sanguíneo.

A hemoglobina é uma proteína que apresenta sítios de ligação com o  $O_2$ , nos quais surge uma ligação fraca e reversível. Quando a pressão parcial de  $O_2$  é elevada, como ocorre na passagem do sangue pelos pulmões, o oxigênio se liga à hemoglobina; quando a pressão parcial de  $O_2$  é baixa, o oxigênio é liberado. Esse efeito de saturação da hemoglobina em meios com diferentes pressões parciais de oxigênio pode ser expresso no gráfico a seguir.

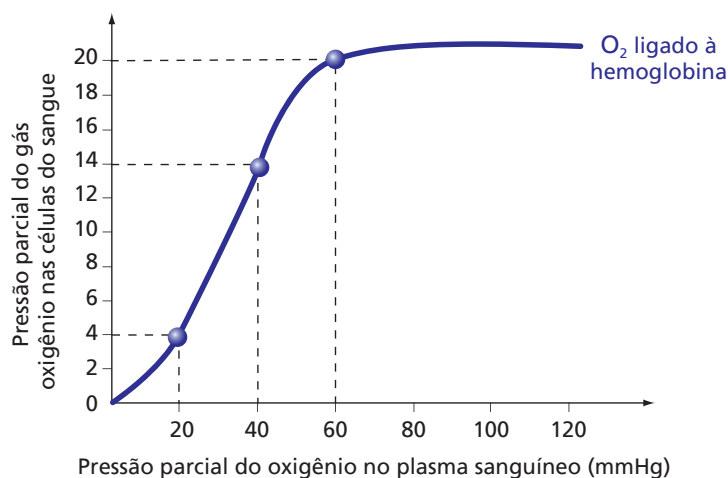


### CURIOSIDADE

As **hemácias** estão entre as menores células do corpo humano. Elas não possuem núcleo e seu citoplasma contém cerca de 250 milhões de moléculas de hemoglobina, cada uma com quatro sítios para ligação de gás oxigênio. Assim, uma única hemácia pode transportar bilhões de moléculas de  $O_2$ .

Maps World/Arquivo da editora

### Saturação da hemoglobina em função da pressão parcial de gás oxigênio no meio



Fonte: GUYTON, A. C.; HALL, J. E. *Textbook of medical physiology*. 11. ed. Philadelphia: Elsevier Saunders, 2006, p. 495.

O gás carbônico é transportado de três maneiras: dissolvido no plasma sanguíneo (cerca de 7%), combinado com a hemoglobina, no lugar do oxigênio, formando a **carbo-hemoglobina** (cerca de 23%) ou sob a forma de íon bicarbonato no plasma (cerca de 70%).

O  $CO_2$  pode reagir com água, formando um composto chamado ácido carbônico ( $H_2CO_3$ ). Essa reação ocorre mais rapidamente dentro das hemácias, nas quais existe uma enzima que acelera o processo, a anidrase carbônica. Em determinadas situações, a concentração de  $CO_2$  no sangue aumenta, promovendo a formação de ácido carbônico. O acúmulo de ácido carbônico contribui para a queda do pH sanguíneo que, como já vimos, estimula o centro respiratório a acelerar o ritmo da respiração. Assim, o excesso de  $CO_2$  não se acumula no sangue, pois vai sendo eliminado pelas expirações.

No entanto, o sangue apresenta um mecanismo que mantém seu pH relativamente estável, exceto em situações extremas, como durante exercícios físicos intensos ou na respiração forçada. O ácido carbônico normalmente dissocia-se em íons hidrogênio ( $H^+$ ) e íons bicarbonato ( $HCO_3^-$ ). Os íons hidrogênio são mantidos dentro da hemácia, enquanto os íons bicarbonato são liberados para o plasma sanguíneo, mantendo o pH do sangue ligeiramente básico.



### PENSE E RESPONDA

A hemoglobina não é formada apenas por aminoácidos; ela possui quatro regiões especiais contendo ferro, cada uma chamada grupo heme. Nessa região ocorre a ligação com o  $O_2$ . Explique o que é anemia ferropriva e como ela pode ser evitada.

A anemia ferropriva é causada pela baixa quantidade de ferro no organismo, por consumo deficiente de alimentos com ferro ou por má absorção desse sal mineral no intestino delgado. Veja mais informações no Manual.



## Como os fetos respiram?

A partir da quarta semana de gestação, inicia-se a formação dos pulmões no feto humano. Ao final da gestação, os pulmões realizam movimentos respiratórios, mas como estão preenchidos por líquidos não ocorrem trocas gasosas. As trocas gasosas do feto não são realizadas, portanto, pelos pulmões. Nessa função, está envolvida a placenta, uma estrutura que apresenta uma região materna e uma região fetal.

Durante a gravidez, a mulher apresenta aumento das frequências cardíaca e respiratória, necessário para manter seu metabolismo e sustentar o feto em gestação.

Na região materna da placenta, em contato com a parede do útero, existem vasos sanguíneos (capilares) do organismo materno. Na região fetal da placenta estão os capilares do feto que partem do cordão umbilical. Não ocorre mistura do sangue materno com o fetal, pois não entram em contato direto; os capilares das duas regiões da placenta ficam próximos e ocorre troca de gases e materiais por difusão pelas paredes desses vasos. O feto recebe, assim, oxigênio e nutrientes e elimina gás carbônico e resíduos nitrogenados no sangue materno.

A captação de gás oxigênio pelo feto torna-se mais eficiente porque sua hemoglobina é especial: possui maior afinidade pelo oxigênio do que a hemoglobina produzida após o nascimento. Essa hemoglobina é produzida inicialmente pelo fígado.

No momento do nascimento, com o rompimento do cordão umbilical, a concentração de oxigênio no sangue do bebê diminui e a concentração de gás carbônico aumenta. Esse aumento provoca queda no pH sanguíneo, condição que estimula o centro respiratório da medula oblonga. Ela envia estímulos às estruturas envolvidas na ventilação pulmonar, e o recém-nascido respira ar pela primeira vez. O líquido que preenchia seus pulmões é em parte eliminado e em parte absorvido pelo organismo.



Richard Schultz/Corbis/Latinstock

➤ O momento do **nascimento**: o bebê respira ar pela primeira vez.

A hemoglobina tem afinidade por outros gases, além do oxigênio e do gás carbônico. Ela forma ligações estáveis com o **monóxido de carbono (CO)**, um gás inodoro formado durante combustões; a afinidade da hemoglobina pelo CO é maior do que pelo oxigênio. A inspiração de CO em recintos fechados pode levar a pessoa à morte por asfixia, pois as moléculas de hemoglobina se ligam a esse gás, deixando de transportar oxigênio.

Nas grandes cidades, túneis longos devem ser construídos com ventiladores de ar para garantir que, em situações de trânsito intenso ou congestionamento, a concentração de monóxido de carbono, eliminado pelos escapamentos dos automóveis, não se torne muito alta e prejudicial à saúde. Geralmente, existem também placas orientando os motoristas a desligar o motor em caso de congestionamento. A inalação de altas quantidades de CO, como vimos, pode levar à morte.

A queima do combustível libera monóxido de carbono (CO), que é altamente tóxico, além de ser inodoro. Os ventiladores destinam-se a fazer o ar circular e, assim, ar novo entra no túnel, saindo o ar com concentração indesejável de CO.



### PENSE E RESPONDA

Escreva em seu caderno a respeito do perigo de manter o motor do carro ligado em garagens fechadas ou em túneis durante um congestionamento, fazendo uma relação com as propriedades da hemoglobina. Note que nessas duas situações os ambientes são malventilados. Escreva também uma justificativa para a existência de ventiladores em túneis longos nas grandes cidades.

### 3 Sistema cardiovascular

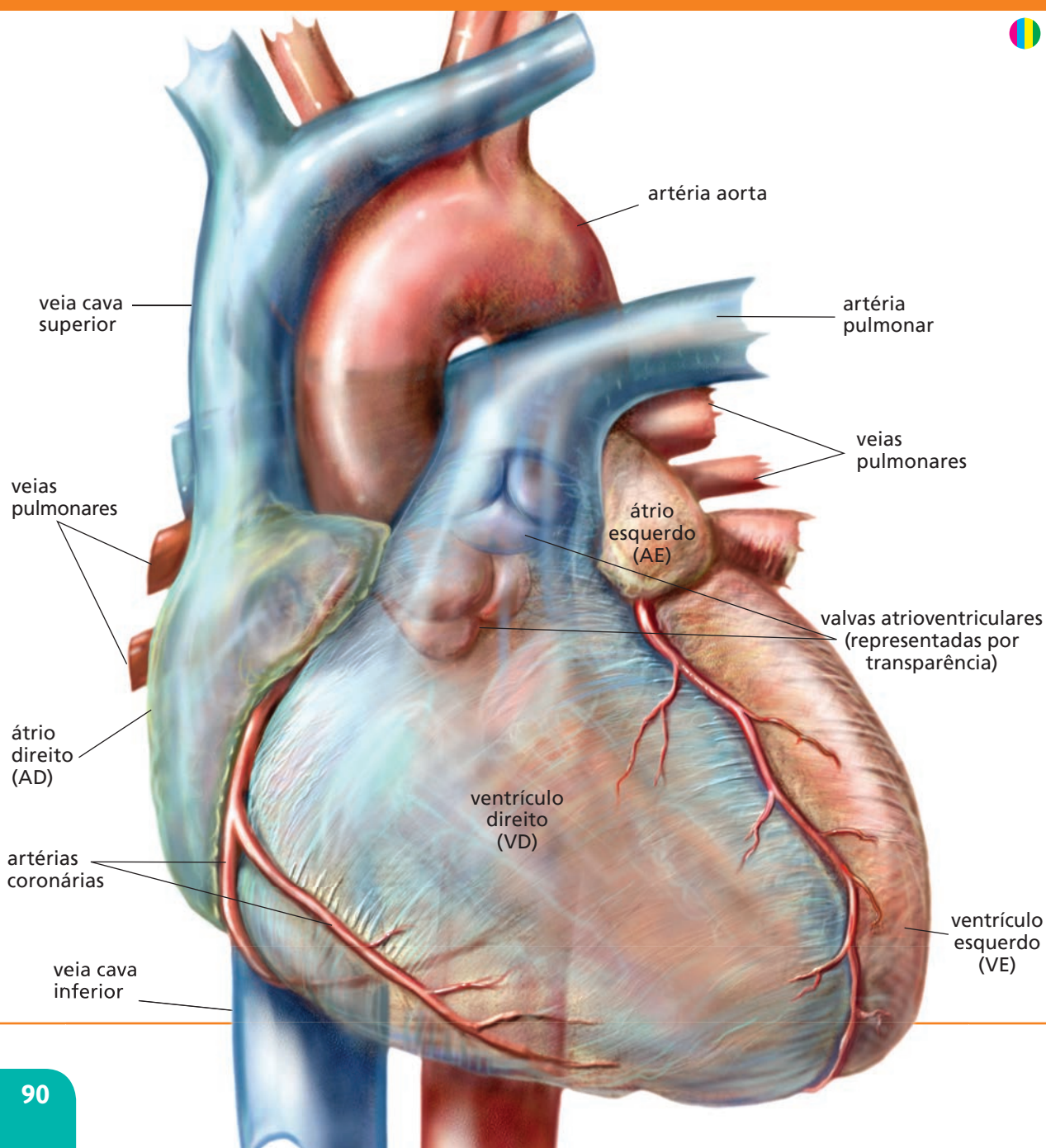
A integração do sistema respiratório e do sistema digestório com os tecidos do corpo depende do **sistema cardiovascular** (sistema circulatório). Assim, os gases respiratórios ( $O_2$  e  $CO_2$ ) e os nutrientes são transportados até as células; também são transportadas outras substâncias, como excretas e hormônios.

✓ Ilustração do **coração** humano, em tamanho aproximadamente natural para um homem adulto. As valvas, que se localizam internamente, foram representadas por transparência.

#### 3.1 Coração

O **coração** é formado por células musculares estriadas cardíacas (miocárdio), que se contraem involuntariamente. É o coração que realiza o bombeamento do sangue para todas as partes do corpo. Veja o esquema abaixo que mostra o coração do ser humano em tamanho aproximadamente natural, para um indivíduo adulto.

#### Coração do ser humano



Nos mamíferos, o coração apresenta quatro cavidades: dois **átrios** e dois **ventrículos**. O átrio direito se comunica com o ventrículo direito pela valva atrio-ventricular direita (válvula tricúspide). A comunicação entre o átrio e o ventrículo esquerdos é feita pela valva atrioventricular esquerda (válvula bicúspide ou mitral). Em indivíduos saudáveis, quando essas válvulas estão fechadas, as quatro câmaras do coração ficam completamente separadas.

O átrio direito apresenta suas paredes relaxadas enquanto recebe o sangue que vem do corpo, pobre em  $O_2$  e rico em  $CO_2$ . Em seguida, o átrio se contrai e a valva atrioventricular direita se abre, resultando na condução do sangue ao ventrículo direito. Depois de fechada a valva, o ventrículo direito se contrai e envia o sangue para os pulmões, via artéria pulmonar, que possui uma bifurcação – cada um de seus ramos conduz o sangue para um pulmão. Nos pulmões, ocorre a hematose.

O átrio esquerdo recebe dos pulmões sangue rico em  $O_2$  e pobre em  $CO_2$  pelas veias pulmonares, que são quatro, sendo duas provenientes de cada pulmão. O mecanismo é semelhante ao que descrevemos para as cavidades do lado direito do coração. O ventrículo esquerdo bombeia o sangue oxigenado para todas as partes do corpo, através da artéria aorta. As paredes do ventrículo esquerdo são mais espessas do que as paredes das outras cavidades cardíacas, e o sangue sai dali com grande pressão, suficiente para ser levado aos tecidos.

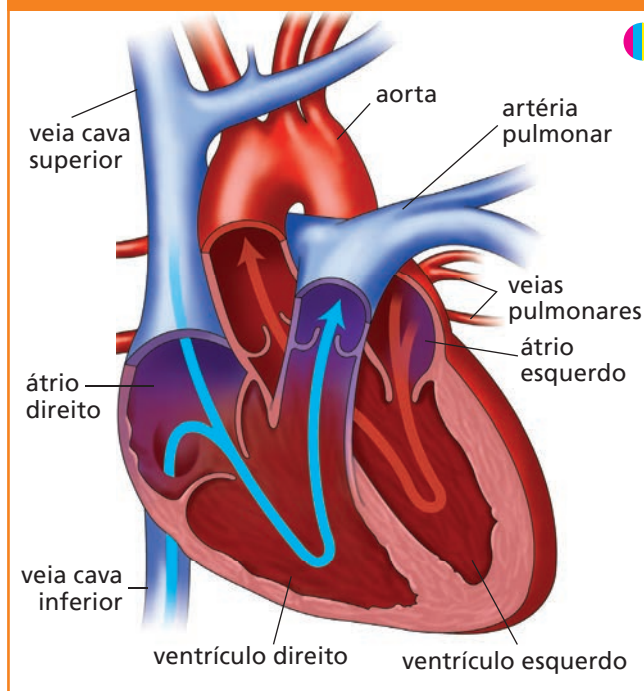
Nos tecidos, ocorre a hematose e o sangue se torna pobre em  $O_2$  e rico em  $CO_2$ . A veia cava superior conduz o sangue proveniente, principalmente, das partes do corpo que ficam acima do coração, enquanto a veia cava inferior conduz o sangue das outras partes do corpo para o átrio direito. O seio coronário recolhe o sangue desoxigenado do miocárdio.

Os batimentos cardíacos resultam da contração dos átrios – a chamada **sístole atrial** – seguida da contração dos ventrículos, ou **sístole ventricular**. Quando ocorre a sístole ventricular, a pressão que o sangue exerce contra a parede das artérias é cerca de 120 mmHg (cento e vinte milímetros de mercúrio) em pessoas adultas e saudáveis. Quando as cavidades cardíacas relaxam, ocorre a **diástole** e a pressão sanguínea cai a 80 mmHg. Esses valores, no entanto, representam apenas uma média, pois podem variar em função de diversas características pessoais, como altura, peso e nível de atividade física.

A pressão sistólica é também conhecida por pressão máxima, e a pressão diastólica por pressão mínima. Esses valores alteram-se de acordo com fatores como idade, sexo e condição de saúde do indivíduo.

O ritmo dos batimentos cardíacos é controlado pela medula oblonga, através de nervos que possuem fibras secretoras de noradrenalina, que determinam o aumento da frequência cardíaca, e fibras secretoras de acetilcolina, que determinam a sua diminuição. Existe também o controle exercido pelo próprio coração, que possui células capazes de gerar impulsos semelhantes aos emitidos pelo sistema nervoso. Essas células estão agrupadas em algumas regiões do miocárdio, como o nó sinoatrial, localizado na parede do átrio direito.

## Coração



Esquema simplificado mostrando a **estrutura interna do coração** e os vasos sanguíneos que chegam ao coração e dele partem. A cor azul simboliza o sangue pobre em  $O_2$  e a vermelha, o sangue rico em  $O_2$ .



### CURIOSIDADE

Certas doenças cardíacas levam à inatividade das células que regulam os batimentos cardíacos, pela morte de parte do miocárdio. Nesses casos, pode-se implantar um **marca-passo** artificial, pequeno aparelho associado a uma bateria que emite impulsos elétricos ao miocárdio, mantendo a contração rítmica do músculo cardíaco.



### 3.2 Vasos sanguíneos

As **artérias** são vasos que levam sangue no sentido que vai do coração para as diversas partes do corpo, inclusive para o próprio coração. Dizemos, então, que elas são vasos que saem do coração. Possuem parede espessa, rica em musculatura lisa. As artérias de maior calibre apresentam também fibras elásticas e, por isso, são vasos resistentes e elásticos, que suportam as altas pressões do sangue bombeado pelos ventrículos contra suas paredes.

As **veias** possuem paredes menos espessas que as das artérias e são vasos que conduzem o sangue das diversas partes do corpo para as cavidades do coração. Algumas veias, especialmente aquelas que conduzem sangue dos membros inferiores e superiores para o coração, precisam ser “massageadas” pelos músculos desses membros, garantindo assim o fluxo sanguíneo. Nas paredes internas das veias existem dobras de tecido, em forma de meia-lua, que funcionam como válvulas, impedindo o refluxo do sangue.

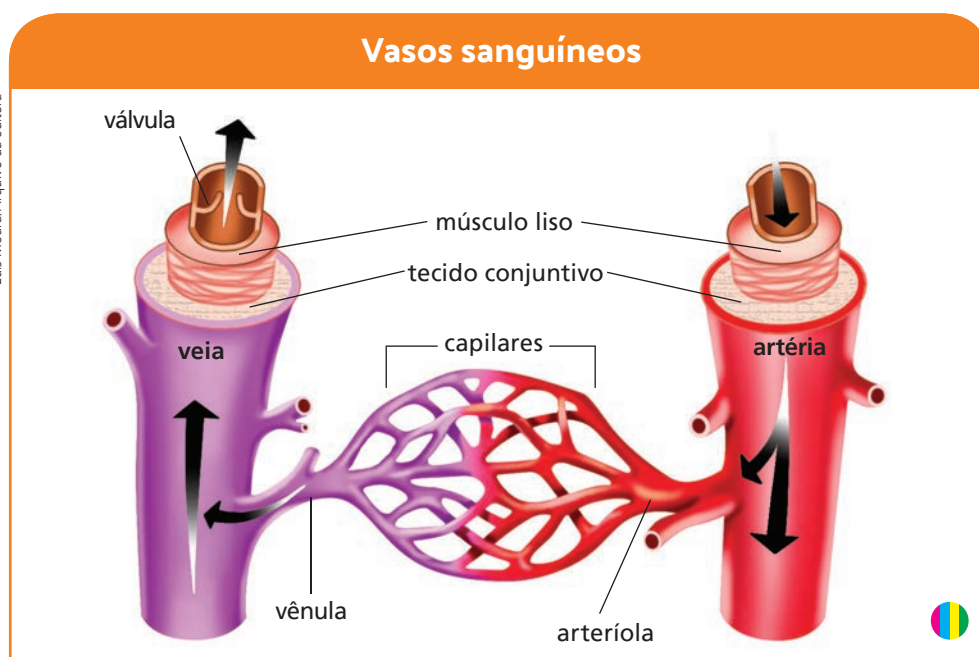
Veias e artérias de grande calibre ramificam-se em vasos cada vez menores, atingindo, assim, a intimidade dos tecidos, formando, respectivamente, **vênulas** e **arteríolas**.

Os **capilares** são vasos de diâmetro muito pequeno, que possuem apenas uma camada de células na sua parede. Por sua fina parede ocorre a difusão dos gases respiratórios, de nutrientes e outras substâncias. A pressão do sangue nos capilares é muito baixa; eles podem ser tão estreitos que as células do sangue passam por eles uma de cada vez.

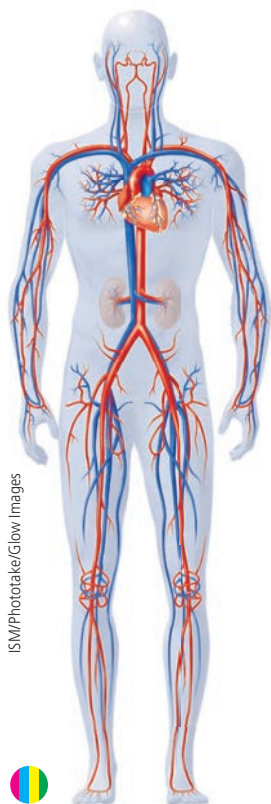
Assim, o sangue rico em  $O_2$  passa muito próximo às células e ocorrem trocas gasosas.



▶ Hemácia passando por um **capilar** sanguíneo. Ela mede cerca de 7  $\mu m$  de diâmetro.



As figuras estão representadas em diferentes escalas.



▶ Esquema ilustrando o **coração e os maiores vasos sanguíneos** do corpo. Os vasos por onde passa o sangue oxigenado estão representados em vermelho e os que conduzem sangue pobre em  $O_2$ , em azul.

▶ Esquema ilustrando os diferentes **tipos de vasos sanguíneos**. Os vasos apresentam diferenças no calibre e na estrutura das paredes. As setas indicam o sentido do transporte do sangue.

### 3.3 Circulação sanguínea

Observe no desenho esquemático abaixo a representação do sistema cardiovascular humano com a indicação do trajeto do sangue entre os tecidos do corpo e os pulmões. A cor azul está sendo utilizada para representar o sangue pobre em gás oxigênio e a cor vermelha representa o sangue rico em gás oxigênio.

Repare que o sangue pobre em  $O_2$  passa pelas cavidades do lado direito do coração, enquanto o sangue rico em  $O_2$  passa pelo átrio e ventrículo esquerdos.

O sangue chega ao átrio direito pelas veias cavas superior e inferior. A artéria pulmonar leva o sangue do ventrículo direito aos pulmões. O sangue se torna rico em  $O_2$  e é transportado novamente para o coração pelas veias pulmonares, que desembocam no átrio esquerdo, de onde passa para o ventrículo esquerdo. O ventrículo esquerdo bombeia o sangue para a artéria aorta, que se ramifica em artérias menores que atingem todas as regiões do corpo, levando gás oxigênio.

Assim, podemos distinguir dois circuitos: a **circulação pulmonar** (pequena circulação) e a **circulação sistêmica** (grande circulação).



#### MULTIMÍDIA

##### Fisiologia – Sistema cardiovascular

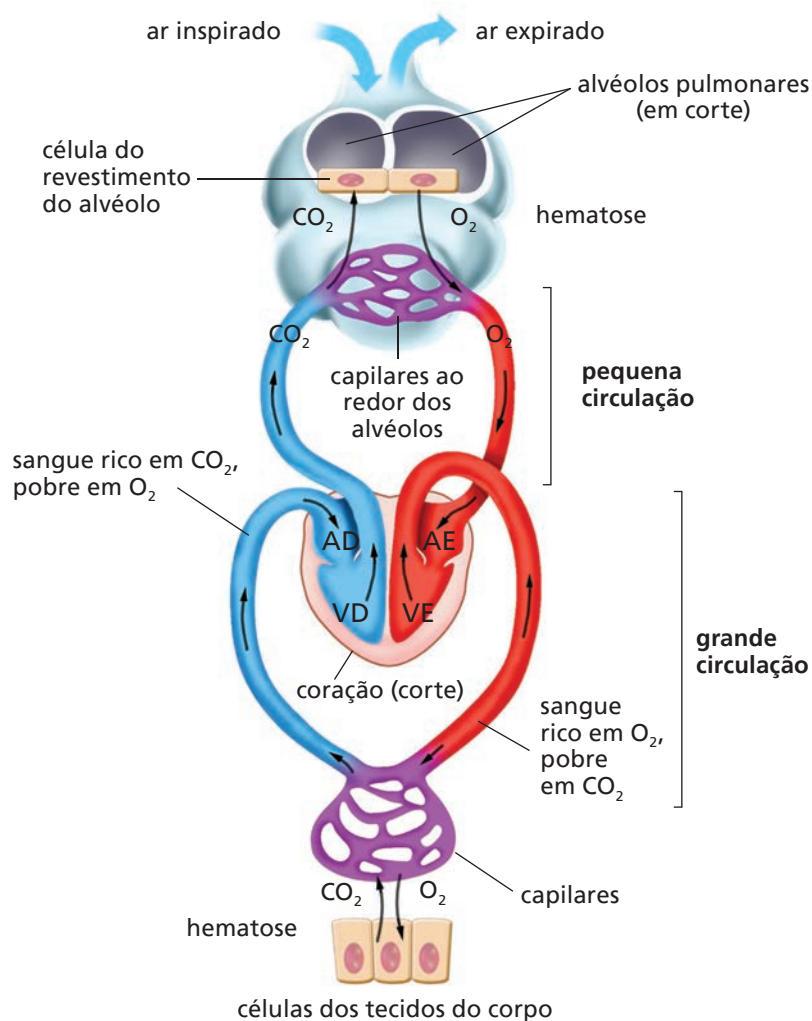
< [http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/2010/objetos\\_de\\_aprendizagem/CIENCIAS/sistcardiov.swf](http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/2010/objetos_de_aprendizagem/CIENCIAS/sistcardiov.swf) >



Reprodução

Neste site da Secretaria Estadual da Educação do Paraná, há animações mostrando o funcionamento do coração, as diferenças entre os vasos sanguíneos e a comparação entre o sistema cardiovascular humano e o de outros animais. Acesso em: 27 fev. 2016.

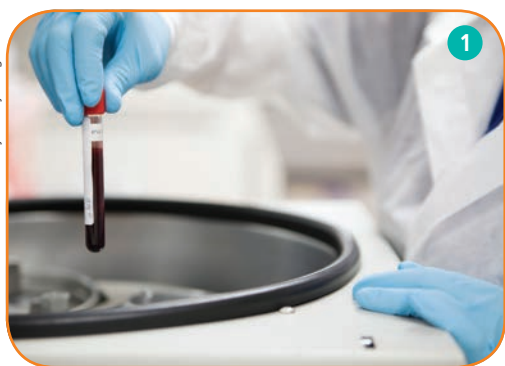
#### Circulação sanguínea



< Esquema simplificado mostrando o **sistema cardiovascular e sua relação com a hematose**, que ocorre nos pulmões e nos tecidos do corpo. AD = átrio direito; AE = átrio esquerdo; VD = ventrículo direito; VE = ventrículo esquerdo.



Dana Neely/Getty Images



Getty Images



Paul Rapson/SPL/Latinstock



Uma **amostra de sangue** (1) é colocada em uma **centrífuga** (2). Após a centrifugação, a amostra apresenta duas fases (3).

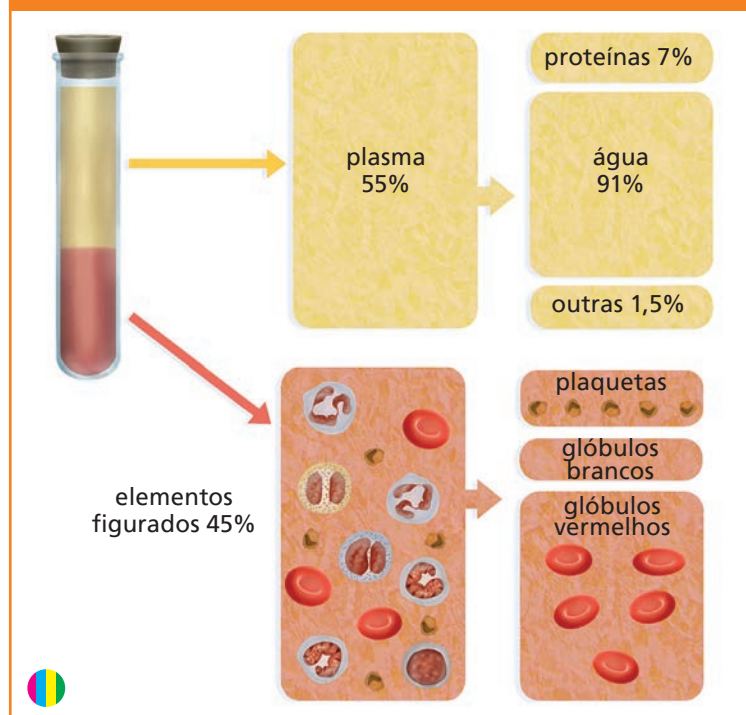
### 3.4 Sangue

O sangue é constituído por:

- ▶ **plasma** – uma solução de proteínas e sais minerais dissolvidos em água;
- ▶ **elementos figurados** – são as células do sangue (glóbulos vermelhos e glóbulos brancos) e as plaquetas, todos produzidos na medula óssea vermelha.

O sangue, a olho nu, é um líquido homogêneo. Ao passar por uma centrifuga, formam-se duas fases, ou seja, separam-se o plasma e os elementos figurados do sangue.

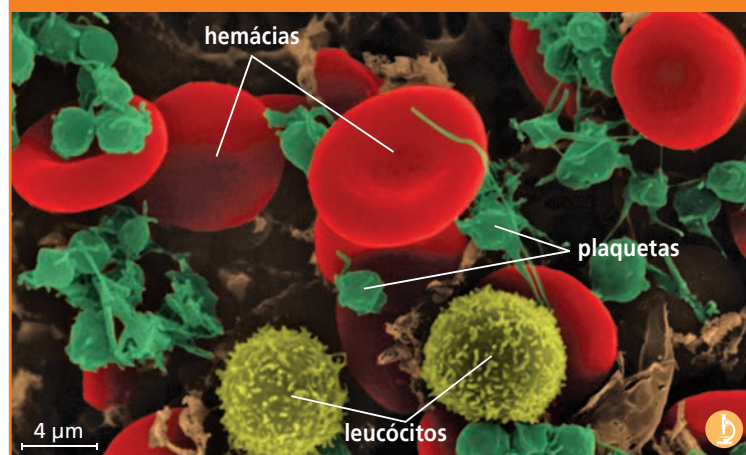
#### Composição do sangue (porcentagens aproximadas)



Altrezéliar/Arquivo da editora

As figuras estão representadas em diferentes escalas.

#### Elementos figurados do sangue



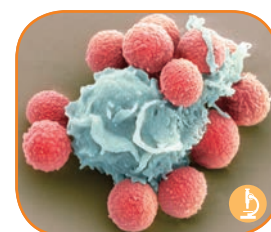
Dennis Kunkel Microscopy/Corbis/Latinstock



Os **glóbulos vermelhos**, também chamados hemácias ou eritrócitos, são células envolvidas no transporte de gases respiratórios. As hemácias derivam de células nucleadas que perdem o núcleo e passam a apresentar grande quantidade de hemoglobina no citoplasma durante o processo de diferenciação que ocorre na medula óssea vermelha. Quando lançadas no sangue, as hemácias são, portanto, anucleadas e apresentam formato de um disco bicôncavo, isto é, com achatamento central dos dois lados do disco. Esse formato está associado à grande eficiência na captação dos gases, pois aumenta a área de sua superfície. As hemácias permanecem ativas na circulação sanguínea por cerca de 120 dias, quando, então, são recolhidas e destruídas pelo fígado e baço.

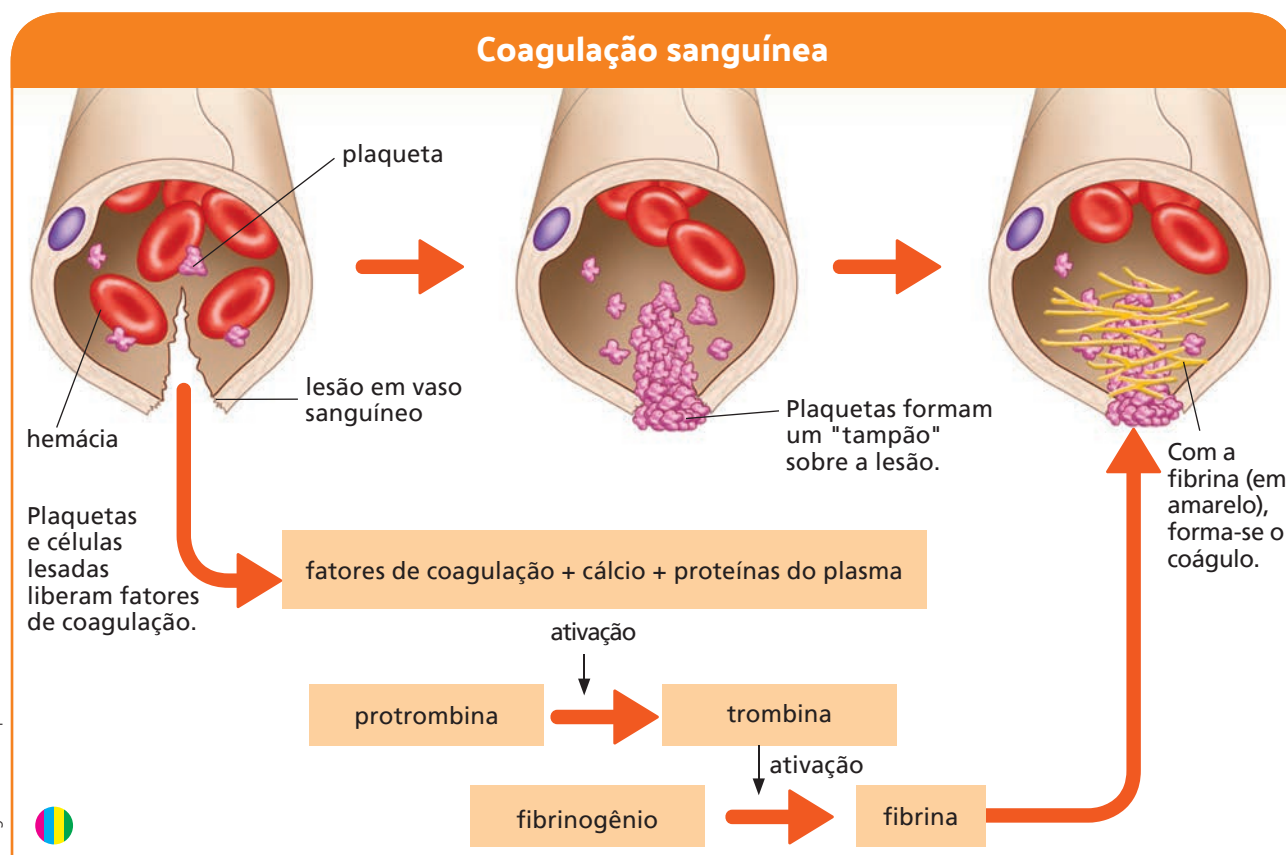
Os **glóbulos brancos** ou **leucócitos** são células de defesa contra micro-organismos ou partículas estranhas ao organismo. Alguns tipos de leucócitos, como os **neutrófilos** e os **eosinófilos**, podem sair da circulação sanguínea e locomover-se entre os tecidos de determinado órgão; além desses, outro tipo de leucócito, o **monócito**, pode sair dos vasos sanguíneos e passar para os tecidos adjacentes, transformando-se em um tipo celular chamado **macrófago**. Todas essas células combatem bactérias, vírus ou outros elementos estranhos ao organismo pelo processo denominado fagocitose, através do qual as partículas são englobadas e sofrem digestão intracelular. Os **linfócitos** são glóbulos brancos especializados na produção de anticorpos, e os **basófilos** são glóbulos brancos capazes de produzir e liberar heparina (substância anticoagulante) e histamina (substância liberada em processos alérgicos, causando dilatação dos vasos sanguíneos).

As **plaquetas** surgem a partir de células da medula óssea vermelha que se rompem durante o processo de diferenciação – cada um de seus fragmentos anucleados passa a ser uma plaqueta. Elas estão envolvidas no processo de **coagulação sanguínea**, esquematizado abaixo e explicado a seguir.



Prof. Matthias Gunzer/  
SPL/Latinstock

Um **neutrófilo** (em tom azulado) emitindo pseudópodes e englobando esporos de fungo (em vermelho), que serão destruídos. Ele mede cerca de 12 µm de diâmetro.





## CURIOSIDADE

Em indivíduos adultos, todos os elementos figurados do sangue são produzidos na medula óssea vermelha, localizada no interior de alguns ossos. A **hematopoiese**, como é chamada essa produção, tem origem a partir de um único tipo celular que possui capacidade de se dividir e se diferenciar nos elementos celulares do sangue. As células indiferenciadas da medula óssea são exemplos de células-tronco presentes no organismo adulto.



## CURIOSIDADE

O processo de coagulação aqui descrito está bastante simplificado. Para você ter uma ideia da complexidade do processo, a falta de apenas um dos fatores, como uma proteína, cálcio ou vitamina K, pode afetar a formação de coágulos e levar a hemorragias. A **hemofilia** ocorre em indivíduos que não produzem uma das proteínas envolvidas na coagulação, geralmente a proteína conhecida por fator VIII. É uma condição determinada geneticamente, conforme estudaremos no capítulo 9.

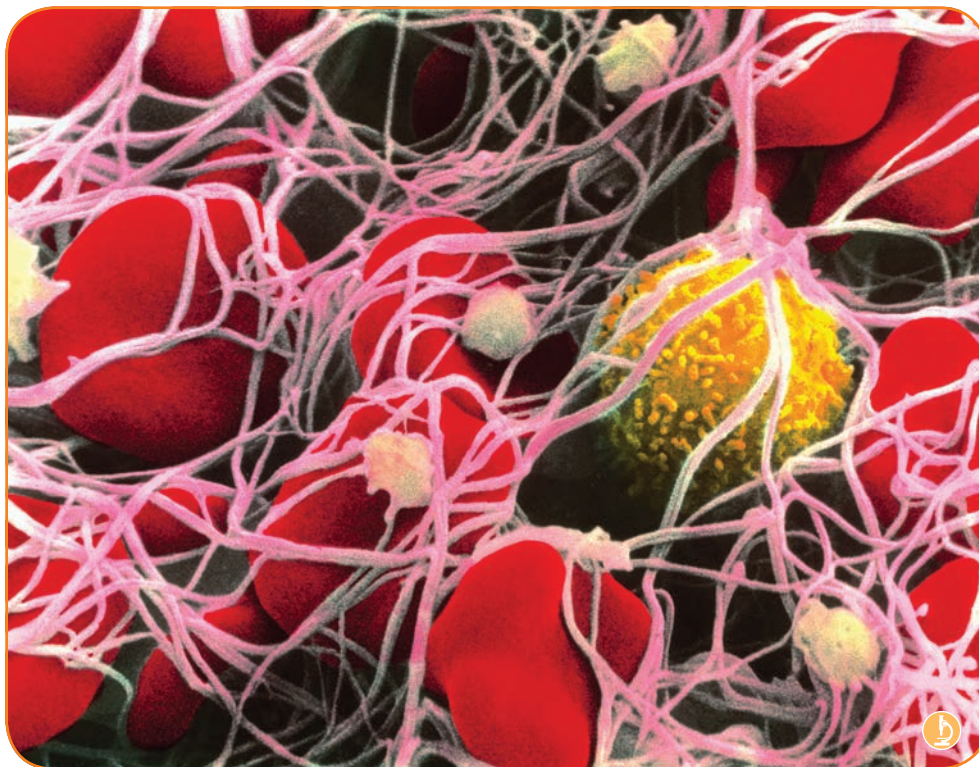
A todo o momento, vasos sanguíneos sofrem lesões dentro de nosso organismo. Se não existisse um mecanismo reparador, perderíamos sangue continuamente por essas lesões, gerando hemorragias. No entanto, as plaquetas e as próprias células lesadas induzem a formação de verdadeiros “tampões”, os **coágulos**, que impedem a passagem de sangue pela região danificada. Esse processo envolve dezenas de substâncias presentes no plasma.

Quando um vaso sanguíneo sofre uma lesão, as plaquetas se agrupam, recobrindo a região lesada e impedindo a saída excessiva de sangue. Ao mesmo tempo, as plaquetas liberam fatores que ativam uma proteína presente no plasma chamada **protrombina**, que na sua forma ativada passa a ser chamada **trombina**. Essa reação depende também da presença de **cálcio** no sangue.

A protrombina é produzida no fígado e para sua síntese é necessária a **vitamina K (filoquinona)**. A deficiência dessa vitamina no organismo pode levar a problemas na formação de coágulos. A vitamina K é sintetizada por bactérias que vivem no intestino humano; no entanto, essa vitamina é lipossolúvel, o que significa que a deficiência de certos ácidos graxos na alimentação pode prejudicar a sua absorção pelo intestino.

A trombina é uma enzima capaz de catalisar a ativação de outra proteína do plasma, o **fibrinogênio**. O resultado dessa sequência de reações é o surgimento de **fibrina**, a forma ativa do fibrinogênio, que se organiza formando uma rede de filamentos. Essa rede de fibrina origina os coágulos, que impedem a passagem de células do sangue até que o vaso sanguíneo lesado esteja restaurado. O processo aqui descrito é rápido, levando cerca de 15 segundos para que o coágulo esteja formado.

As plaquetas são importantes também na etapa de retração do coágulo. Como a rede de fibrina prende-se às paredes do vaso lesado, no momento de sua retração as bordas do vaso rompido são aproximadas, contribuindo para o reparo da lesão.



CNRV/SP/Latinstock

^ **Coágulo**: rede de fibrina (em cor rosada) aprisionando hemácias (em vermelho) e linfócito (em amarelo). As pequenas estruturas esbranquiçadas são as plaquetas. A hemácia mede cerca de 7 μm de diâmetro.



## 4 Circulação linfática

Os **vasos linfáticos** estão presentes em praticamente todo o corpo. Os capilares linfáticos, vasos muito finos e de fundo cego, retiram dos tecidos o excesso de líquido intersticial, material existente entre as células. Os capilares reúnem-se em vasos de calibre cada vez maior, desembocando nos ductos linfáticos. Estes vasos confluem para veias de grande calibre do sistema sanguíneo.

A quantidade de **líquido intersticial** aumenta quando o sangue passa pelos capilares de um tecido; a parte líquida do sangue passa dos capilares para os tecidos e se acumula entre as células. Uma parte desse líquido retorna ao sangue pela porção venosa dos próprios capilares sanguíneos, mas outra parte é recolhida pelos vasos linfáticos. Isso impede a ocorrência de inchaços (edemas) em tecidos do corpo.

O líquido recolhido pelos vasos linfáticos passa a ser chamado **linfa**. O sistema linfático também é formado pelos **linfonodos** e pelos **órgãos linfoides**. A função dos linfonodos e dos órgãos linfoides está relacionada, como o próprio nome sugere, à maturação de linfócitos e à produção de anticorpos. Assim, o sistema linfático forma uma rede de drenagem de líquido intersticial e de defesa do organismo.

Os linfonodos localizam-se ao longo dos ductos linfáticos e constituem locais onde os linfócitos, produzidos na medula óssea vermelha, ficam agrupados. Ao passar por eles, a linfa sofre um processo de “limpeza”, com a remoção de possíveis micro-organismos patogênicos, evitando infecções. Na presença de micro-organismos, os linfócitos multiplicam-se nos linfonodos da região afetada, que acabam aumentando de tamanho, podendo até ser palpáveis através da pele em algumas regiões do corpo, como pescoço, axilas e virilha, constituindo o que se denomina **íngua**.

Além dos linfonodos, existem os **órgãos linfoides**: as tonsilas palatinas (amídalas), o timo e o baço. Você pode observar a localização desses órgãos na figura acima. Os órgãos linfoides estão envolvidos com a “limpeza” do sangue, na destruição de antígenos.

O **timo** é muito desenvolvido em bebês e crianças, sofrendo involução que se inicia na época da puberdade e segue durante a vida adulta, embora não chegue a desaparecer. No timo, ocorre a seleção de linfócitos aptos para o reconhecimento de antígenos e produção de anticorpos.

O **baço** também é rico em linfócitos e tem papel importante na eliminação de micro-organismos presentes no sangue, que ao passar por esse órgão sofre uma “limpeza”. O baço também recolhe hemácias que já perderam sua função de captação de gás oxigênio, retirando-as da circulação e destruindo-as.

### Distrito linfático do sistema cardiovascular

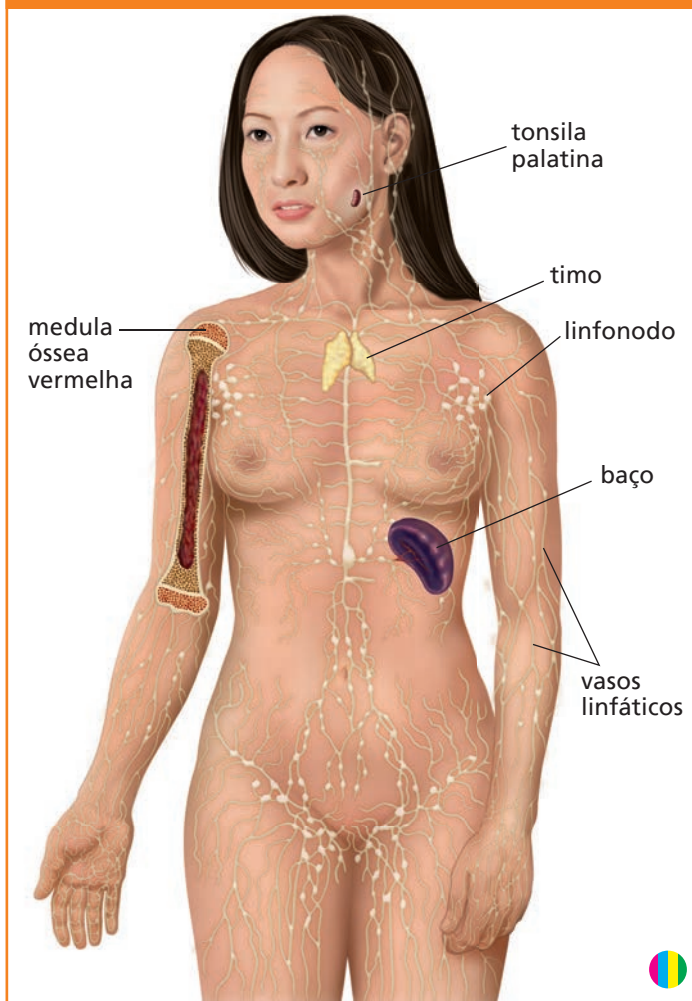


Ilustração do **distrito linfático** por transparência.



#### ATENÇÃO

De acordo com a atual nomenclatura anatômica, o termo “sistema linfático” não é mais utilizado. O sistema cardiovascular é constituído por dois distritos: o distrito sanguíneo, composto pelo coração e pelos vasos que transportam sangue, e o distrito linfático, formado pelos vasos linfáticos, linfonodos e órgãos linfoides.





## RECORDE-SE

**Antígeno**

Elemento estranho ao organismo, capaz de deflagrar uma resposta do sistema imunológico. Vírus, bactérias, fungos, protozoários, vermes parasitas e até grãos de pólen possuem antígenos; células de um transplante também podem apresentar elementos não reconhecidos pelo receptor.

**Anticorpo**

Proteína do grupo das imunoglobulinas, produzida por linfócitos. Os anticorpos são produzidos após o primeiro contato com um antígeno e apresentam ação específica apenas contra o antígeno que estimulou sua produção.

- ✓ Esquema simplificado mostrando o reconhecimento de um antígeno e a ativação de **linfócitos T** capazes de destruí-lo.

## 4.1 Defesa do organismo contra antígenos

Os leucócitos estão envolvidos com a defesa do organismo, constituindo o **sistema imunitário** (ou imunológico).

Temos contato constante com partículas estranhas ao corpo, como micro-organismos, grãos de pólen, poeira. Qualquer partícula ou substância que o corpo reconhece como estranha recebe o nome **antígeno**.


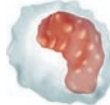

A pele constitui uma barreira física que impede a entrada de muitos antígenos em nosso organismo. Podemos citar a lágrima e a saliva como outras barreiras, por possuírem em sua composição lisozima, uma enzima capaz de destruir bactérias.

Vimos anteriormente neste capítulo que, quando partículas atingem os pulmões, macrófagos entram em ação.

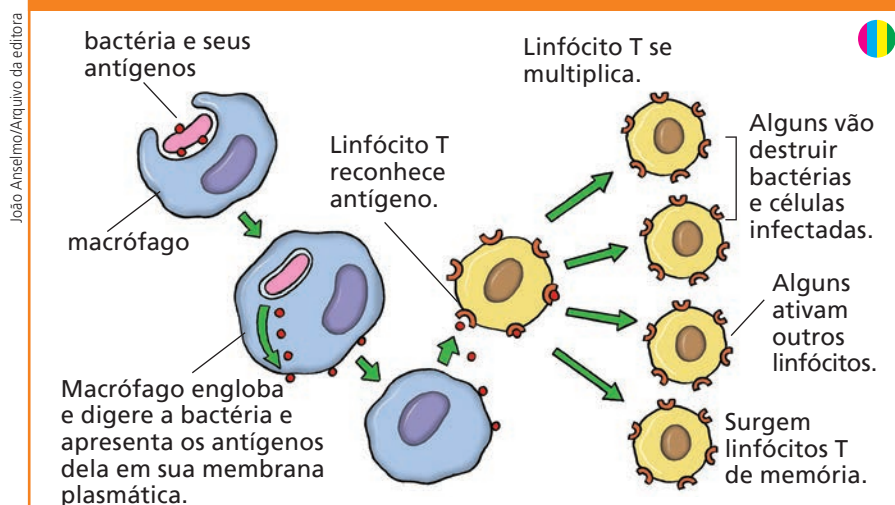
Todos esses exemplos fazem parte dos mecanismos de defesa inespecífica do organismo, cuja ação não depende do tipo de invasor.

Existe também uma segunda linha de defesa do corpo: a resistência específica a determinados antígenos. Essa resistência específica é chamada **imunidade**.

Na defesa do organismo, seja ela específica ou não, estão envolvidos os **leucócitos** ou **glóbulos brancos**, que podem ser de diferentes tipos. Os macrófagos, que citamos anteriormente, são leucócitos. Veja no quadro a seguir as ilustrações de três diferentes glóbulos brancos (em cores-fantasia) e suas funções básicas.

<b>Neutrófilos</b>  10 µm	São os que primeiro combatem a invasão de um tecido do corpo por bactérias. Cada neutrófilo emite prolongamentos do citoplasma e engloba bactérias, em um processo chamado fagocitose. Eles também liberam enzimas capazes de destruir algumas espécies de bactérias.
<b>Monócitos</b>  10 µm	Numerosos monócitos chegam ao local da infecção após os neutrófilos. Eles podem sair dos vasos sanguíneos e entrar nos tecidos infectados, transformando-se em macrófagos, que fagocitam bactérias e restos de células infectadas.
<b>Linfócitos</b>  10 µm	São de vários tipos e comandam a imunidade específica, ou seja, o combate a uma espécie de micro-organismo invasor. Eles atacam também células tumorais e, em um transplante de órgão ou tecido, podem atacar as células provenientes do doador.

### Ativação de linfócitos T



### A defesa imunitária específica

Vamos considerar a ação de dois tipos de linfócitos: T e B. Na maturação desses linfócitos, surgem proteínas em suas membranas plasmáticas que funcionam como receptores de antígenos, capazes de identificar e se ligar a antígenos específicos. Esses antígenos são "apresentados" aos linfócitos T por glóbulos brancos como os macrófagos. Veja no esquema ao lado as consequências desse reconhecimento.

As figuras estão representadas em diferentes escalas.

A presença de antígenos no organismo ativa também os linfócitos B, que circulam no plasma sanguíneo, na linfa e no líquido extracelular dos tecidos. Eles se multiplicam e se diferenciam, passando a produzir **anticorpos**, proteínas que se ligam a um antígeno específico, causando sua destruição. Nessa condição, as células passam a ser chamadas **plasmócitos**.

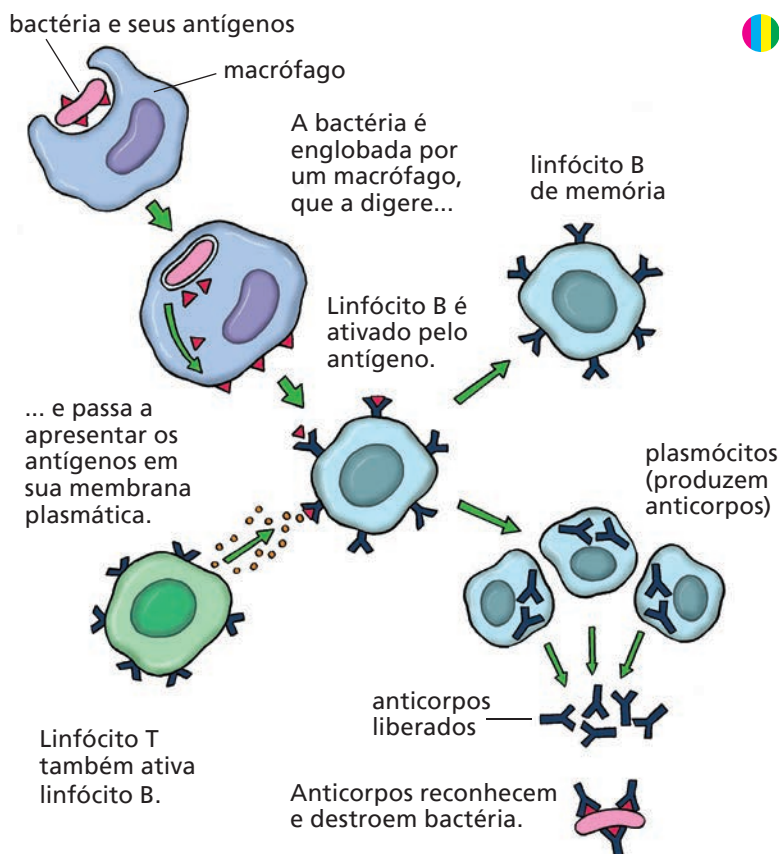
Durante a infecção, alguns linfócitos B são ativados, mas não produzem anticorpos. Eles se tornam **células de memória**, que podem ficar muitos anos no organismo, circulando no sangue e na linfa.

Após a infecção, os plasmócitos morrem. Se ocorrer o contato do organismo com o mesmo agente infeccioso, as células de memória rapidamente se multiplicam e muitas delas se diferenciam em plasmócitos, que podem combater a nova infecção. É o que ocorre, por exemplo, com a imunidade adquirida após se contrair sarampo ou catapora.

A **vacinação** permite ativar o sistema imunitário e a formação de células de memória. Uma vacina é produzida com micro-organismos causadores de uma doença, na forma inativa ou atenuada, ou ainda com substâncias produzidas por eles. Assim, formam-se anticorpos específicos no combate daquele micro-organismo e, com o surgimento das células de memória, adquire-se imunidade contra a doença por ele causada. Esse processo é chamado **imunização ativa**.

Existe também a **imunização passiva**, em que a pessoa recebe a aplicação de soro contendo anticorpos específicos. Essa forma de imunização é fundamental para os casos em que não há tempo para esperar a resposta imune do organismo, como no caso de picadas de animais peçonhentos.

## Ativação de linfócitos B

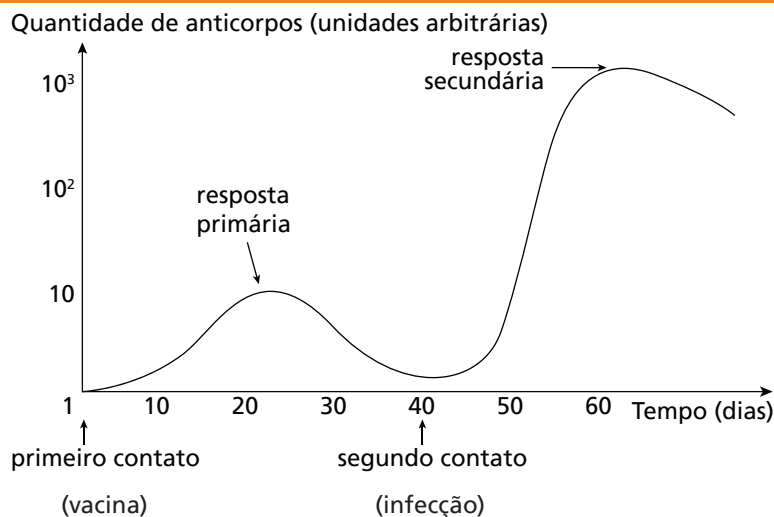


João Anselmo/Arquivo da editora

As figuras estão representadas em diferentes escalas.

Esquema representando de modo simplificado o reconhecimento de um antígeno e a **ativação de linfócitos B**.

## Respostas primária e secundária ao contato com um antígeno



Adaptado de: CAMPBELL, N. A.; REECE, J. *Campbell biology*. 9. ed. New York: Benjamin Cummings, 2011, p. 940.

Gráfico ilustrando **efeito da vacinação na resposta imunitária** a uma infecção. Observe que a quantidade de anticorpos aumenta rapidamente após o primeiro contato do organismo com o antígeno, por meio da vacina.

Equipe NATH/Arquivo da editora

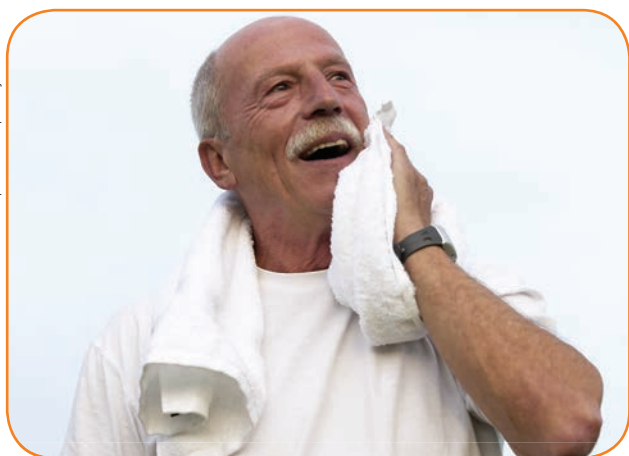


## CURIOSIDADE

**O que é a febre?**

Em algumas situações, há aumento da temperatura corporal, geralmente acompanhado de mal-estar, caracterizando a febre. Existem evidências de que a febre é resultado de um mecanismo de resposta à presença de micro-organismos patogênicos no organismo. Os macrófagos, em resposta à infecção, desencadeiam reação que, entre outros efeitos, estimula o hipotálamo a elevar a temperatura corporal. A febre moderada aparentemente contribui para a destruição dos patógenos. Entretanto, febres muito altas (39 °C, por exemplo) podem ser perigosas, pois a alta temperatura pode levar à desnaturação de algumas proteínas, alterando muito o metabolismo.

- ✓ A **transpiração** é um mecanismo que reduz a temperatura interna do corpo. A água perdida na forma de vapor pelo suor deve ser repostada com a ingestão de líquidos, especialmente em dias quentes ou após exercícios físicos.



Plainpicture/Grupo Keystone



Flint/Corbis/Latinstock

## 5 Manutenção da temperatura interna nos seres humanos

Além das funções que já estudamos – imunização, transporte de gases e de outros materiais –, o sangue também é responsável por levar o calor às diversas regiões do corpo. Aves e mamíferos mantêm constante a sua temperatura interna pelo metabolismo de suas células.

Como o calor se transfere do ambiente mais quente para o mais frio, os tecidos do corpo com **taxa metabólica** mais elevada liberam calor mais intensamente, que é transferido às regiões menos quentes do organismo. A taxa metabólica corresponde à quantidade de energia necessária para manter as atividades das células e, quanto maior essa taxa, maior é o consumo de nutrientes que fornecem energia, e maior é a liberação de energia na forma de calor. Os músculos esqueléticos constituem um exemplo de estruturas que liberam muito calor, sendo essa liberação maior conforme aumenta o nível de atividade física.

O **hipotálamo**, localizado na parte central do sistema nervoso, comanda a manutenção da temperatura interna em vertebrados. Os estímulos gerados pelo hipotálamo podem causar a constrição dos vasos sanguíneos superficiais e contrações musculares (tremor) como resposta ao ambiente frio; em ambiente quente, há estímulo para a vasodilatação, auxiliando o processo de perda de calor através da pele.

Nos mamíferos, a presença de pelos e o panículo adiposo funcionam como uma barreira que impede a perda excessiva de calor para o ambiente. Por outro lado, esses animais possuem glândulas sudoríparas na pele que produzem e liberam o suor no processo de **transpiração** (sudação). O suor é rico em água que, ao evaporar, colabora com a redução do calor corpóreo. Esses mecanismos de proteção contra a perda de calor e contra o aquecimento excessivo do corpo permitem a manutenção de uma temperatura constante e adequada ao bom funcionamento celular.

- ◀ O **tremor** e os pelos arrepiados são mecanismos que reduzem a perda de calor do corpo para o ambiente externo. Com o tremor, contrações musculares liberam muito calor, o que aquece o corpo. Pelos arrepiados dificultam e diminuem a dissipação do calor da pele.



## 6 Sistema urinário

O sistema urinário está envolvido com a **excreção**, que é o mecanismo de eliminação de substâncias que estejam em excesso, como água e sais minerais, e de substâncias tóxicas ao organismo. A excreção garante assim o equilíbrio das condições fisiológicas do organismo.

O sistema urinário é o principal responsável pelo controle da quantidade de água eliminada pelo organismo e pela excreção de sais minerais e das **excretas nitrogenadas**, que são resíduos da degradação de proteínas e de ácidos nucleicos que precisam ser eliminados, pois seu acúmulo torna-se tóxico ao organismo. Esses produtos nitrogenados podem ser encontrados na forma de amônia, ácido úrico ou ureia.

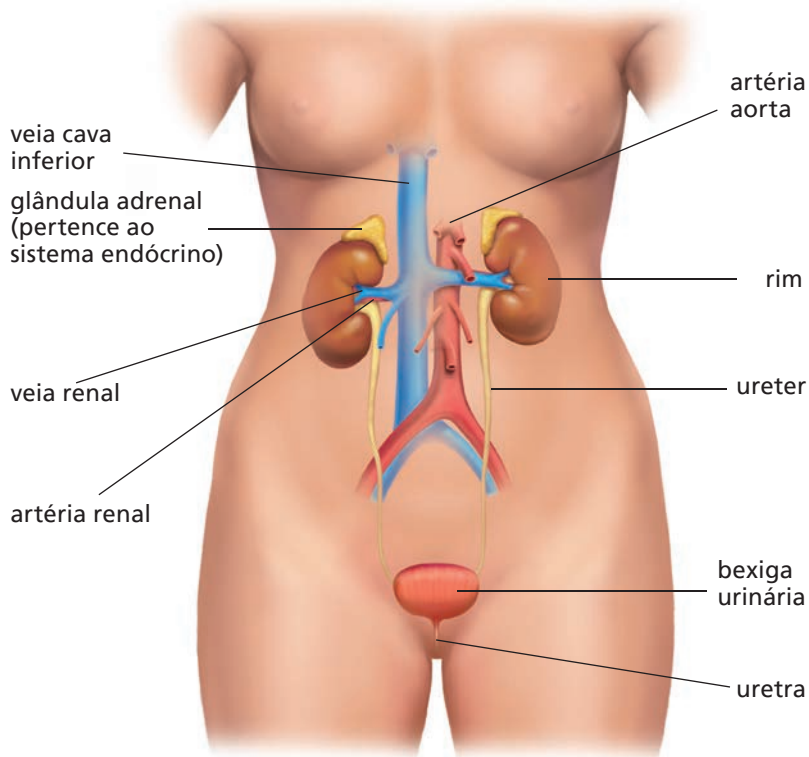
A amônia, a ureia e o ácido úrico apresentam diferentes níveis de toxicidade, sendo a amônia altamente tóxica, enquanto o ácido úrico é praticamente atóxico e a ureia ocupa um nível intermediário. Além disso, também diferem quanto à solubilidade em água, sendo a amônia o composto mais solúvel entre as excretas nitrogenadas.

Os mamíferos, inclusive o ser humano, apresentam como excreta nitrogenada predominante a **ureia**, produzindo amônia e ácido úrico em quantidades menores. A ureia é formada no fígado e é lançada no sangue. O sistema urinário, representado nesta página, realiza a filtração do sangue, retirando dele a ureia, eliminada na urina.

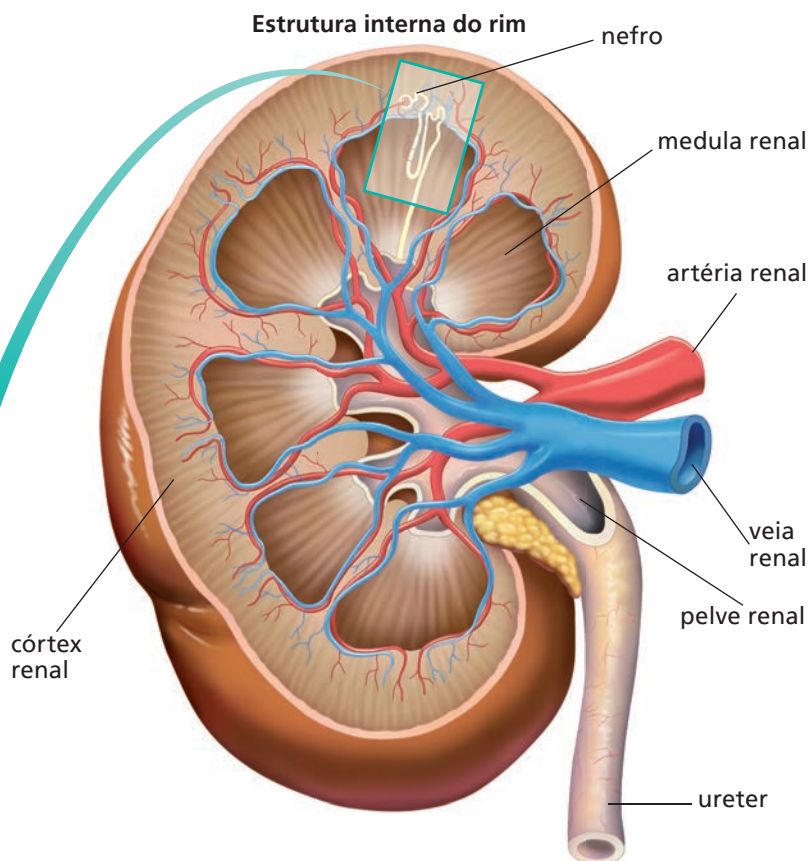
✓ Ilustração do **sistema urinário do ser humano**, aqui representado em uma mulher. O rim mede, em um adulto, cerca de 12 cm de comprimento. No detalhe, a estrutura do nefro, que é a unidade microscópica do rim.



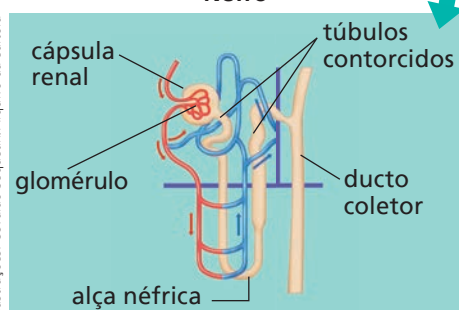
Sistema urinário do ser humano



Estrutura interna do rim



Nefro



Ilustrações: Osvaldo Sequeitin/Arquivo da editora


**PENSE E  
RESPONDA**

Em mulheres grávidas, há secreção de um hormônio, a gonadotropina coriônica (HCG), sintetizado pela placenta. Explique por que é possível detectar gravidez pelo teste da urina, apesar de ser um exame com índices consideráveis de falha, e que não deve substituir o exame de sangue para detectar a presença de HCG.

O hormônio HCG, circulante no sangue, pode ser filtrado nos rins e eliminado na urina.


**ATENÇÃO**

A ingestão de álcool e de determinadas substâncias com efeito diurético inibe a secreção de ADH pela glândula hipófise, resultando na produção mais abundante de urina. Esse quadro pode levar à desidratação se não houver reposição de líquido e sais minerais no organismo.

A espécie humana apresenta sistema urinário formado por dois **rins** e pelas **vias uriníferas**, composto de pelvis renais, ureteres, bexiga urinária e uretra. Cada rim é constituído por milhares de unidades microscópicas chamadas **nefros**.

O nefro possui uma região onde ocorre a filtração do sangue, formada pelo **glomérulo** e pela **cápsula renal** (cápsula de Bowman). O glomérulo renal é composto por capilares sanguíneos enovelados, que se originam de ramificações cada vez menores da artéria renal (esquerda ou direita). Ao passar pelo glomérulo, parte do plasma sanguíneo extravasa as finas paredes dos vasos que compõem o glomérulo e entra na cápsula renal. Isso ocorre porque o sangue entra no glomérulo com alta pressão. O resultado é a **filtração** do sangue.

Proteínas do plasma e células sanguíneas permanecem no sangue, enquanto moléculas de ureia, glicose, sais minerais e água são filtrados e passam do sangue para a cápsula renal, formando o filtrado glomerular.

A partir da cápsula renal, formam-se os **túbulos néfricos**: túbulo contorcido proximal, alça néfrica (alça de Henle) e túbulo contorcido distal, nessa ordem. Ao redor dos túbulos, existe uma rede de capilares sanguíneos que se reúnem e desembocam nas veias renais.

O filtrado glomerular, ao passar pelos túbulos néfricos, perde glicose, água e sais minerais, que são reabsorvidos e voltam para o sangue que circula nos capilares que envolvem o nefro. Ao sair do nefro, pelo ducto coletor, o filtrado está transformado em **urina**, composta basicamente por ureia, água e sais minerais. Pela urina também podem ser eliminadas outras substâncias que circulam pelo sangue e se encontram em excesso, como glicose, alguns hormônios e medicamentos.

A urina chega à bexiga pelos ureteres e é eliminada pelo canal da uretra. A cada dia, em condições normais, 1 ou 2 litros de urina são formados em um adulto, dependendo da quantidade de água que será reabsorvida ou eliminada.

A quantidade de água na urina é regulada principalmente pelo **hormônio antidiurético (ADH)**, produzido por uma região do cérebro, o hipotálamo, e liberado pela glândula hipófise, que estudaremos no capítulo a seguir.

Quando estamos com pouca água no sangue, a concentração do plasma sanguíneo aumenta e há o estímulo para liberação do hormônio ADH.

Ele age nas paredes dos túbulos distais dos nefros e dos ductos coletores, tornando-as permeáveis à água e aumentando a sua reabsorção pelo sangue. Assim, a urina produzida será mais concentrada e o corpo não perderá muita água pela urina.

Quando bebemos muita água, acontece o inverso.

A concentração do plasma sanguíneo diminui e a liberação de ADH é inibida. A reabsorção de água nos túbulos distais e nos ductos coletores fica reduzida e o excesso de água é eliminado pela urina, que fica mais diluída.

◀ Devemos **ingerir cerca de 2 litros de água por dia**, para garantir o bom funcionamento dos rins, entre outros benefícios.

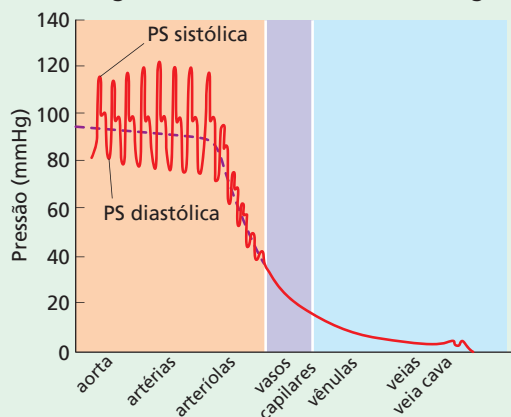


## Medindo a pressão arterial

Podemos definir **pressão sanguínea**, de modo simplificado, como a força que o sangue exerce contra a parede dos vasos sanguíneos, como resultado do bombeamento do sangue para fora dos ventrículos.

As artérias de grande calibre ramificam-se em artérias cada vez menores, até formar as arteríolas, onde o sangue passa mais lentamente e com menor pressão. Quando sentimos nossa pulsação, estamos apalpando e sentindo os movimentos de uma artéria de grande calibre, que suporta grande pressão do sangue contra suas paredes, em comparação com os vasos de menor calibre e com as veias, como você pode verificar no gráfico a seguir.

Pressão sanguínea em diferentes vasos sanguíneos



Maps World/Arquivo da editora

Fonte: GUYTON, A. C.; HALL, J. E. *Tratado de fisiologia médica*. 9 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1996, p. 149.

A medida da **pressão arterial** é tomada como medida da pressão sanguínea.

Você já deve ter ouvido: “*Minha pressão é 12 por 8*”, ou algo parecido. O que isso significa?

A expressão “12 por 8” é uma simplificação de 120/80. O maior valor corresponde à pressão do sangue nas artérias durante a contração dos ventrículos, a sístole. Em um homem adulto e saudável, o valor 120 milímetros de mercúrio (mmHg) é considerado normal, mas são possíveis variações. A unidade “mmHg” significa que a pressão sistólica de 120 produz uma força capaz de levantar uma coluna de mercúrio – metal líquido à temperatura ambiente – em 120 milímetros. O menor valor representa a pressão do sangue na diástole

dos ventrículos. A força gerada seria capaz de levantar uma coluna de mercúrio em 80 mm.

A pressão arterial pode ser medida pelo aparelho **esfigmomanômetro**, mostrado na foto abaixo. Para fazer as medidas da pressão sistólica e diastólica, o profissional utiliza um estetoscópio, com o qual detecta um ruído rítmico que lhe permite definir a pressão sistólica; a partir do momento em que não se ouve mais o ruído, tem-se a pressão diastólica. Os valores considerados normais da pressão arterial para um indivíduo variam em função da idade, do sexo, se a medida foi feita com a pessoa em repouso, deitada, sentada ou em pé.

É muito importante para a saúde manter a pressão sanguínea dentro dos níveis de normalidade, pois alterações podem levar ao surgimento de doenças cardiovasculares e aumento do risco de acidentes vasculares. O controle da pressão sanguínea é feito por meio de uma alimentação saudável – sem excesso de sal, açúcares e gorduras –, atividade física diária, adequada às condições do corpo, e manter-se hidratado, bebendo água ao longo do dia.



➤ O **esfigmomanômetro** é o aparelho que mede a pressão arterial.





Para se ter uma ideia da relação entre altitude e pressão parcial de  $O_2$ , esse valor é de aproximadamente 150 mmHg ao nível do mar; em altitudes de cerca de 3000 m, esse valor cai para 107 mmHg.

## A altitude e a produção de hemácias

Atletas brasileiros, quando convidados a competir em cidades localizadas em regiões de grande altitude – como Lima, no Peru, e La Paz, na Bolívia (ambas com altitude superior a 3000 m) –, geralmente chegam com alguns dias de antecedência ao local e seguem uma rotina de treinos até o dia da competição, para que não sofram problemas decorrentes da altitude, como tonturas e diminuição do rendimento aeróbico durante exercícios físicos. Mas por que isso acontece?

A altitude corresponde à distância vertical entre o nível do mar (altitude = 0) e um ponto do relevo. Em regiões de altitude elevada, a pressão atmosférica é menor do que ao nível do mar. É possível observar, por exemplo, que uma mesma quantidade de água ferve mais rapidamente em locais montanhosos do que em regiões mais baixas do relevo. A pressão parcial de  $O_2$  no ar atmosférico diminui em proporção direta com a pressão atmosférica.

Vimos neste capítulo que quanto menor a pressão parcial de  $O_2$ , menor o nível de saturação da hemoglobina. Nessa condição, ocorre diminuição da eficiência da hemoglobina na captação desse gás, o que pode causar aumento da frequência cardíaca e do ritmo respiratório, além da sensação de tontura e cansaço. Esses primeiros sintomas geralmente são mais evidentes algumas horas após a chegada à região de altitude elevada e podem variar de acordo com as condições de saúde da pessoa. A redução na quantidade de  $O_2$  transportada pelo sangue é relativamente pequena e geralmente não traz maiores consequências para indivíduos em repouso. No entanto, o rendimento na prática de exercícios físicos pode ser prejudicado. Nas Olimpíadas de 1968, realizadas na Cidade do México (altitude de 2300 m), o desempenho de atletas em provas de corrida e natação, de média e longa distâncias, foi considerado precário, sem nenhum novo recorde mundial, devido ao efeito da altitude no transporte de  $O_2$ .

Com o passar dos dias, o organismo passa a produzir maior quantidade de hemácias, “contornando” o problema da menor saturação da hemoglobina nas condições de altitude elevada. O conjunto das alterações fisiológicas que surgem como resposta à menor pressão parcial de  $O_2$  em altitudes elevadas é chamado **aclimação**.

Quando pessoas já “aclimatadas” viajam para locais de baixa altitude, as hemácias em excesso são removidas do sangue.

No caso de atletas, quanto melhor o condicionamento aeróbico, menores os efeitos da altitude em seu organismo. A ciência do treinamento esportivo procura, cada vez mais, minimizar esses efeitos.

Fonte:

McARDLE, W.; KATCH, F.; KATCH, V. *Fisiologia do exercício: energia, nutrição e desempenho humano*. RJ: Guanabara Koogan, 1998.



Peter Adams/JAI/Corbis/Latinstock

^ **La Paz**, cidade da Bolívia localizada a mais de 3000 m acima do nível do mar.

### DEPOIS DA LEITURA...

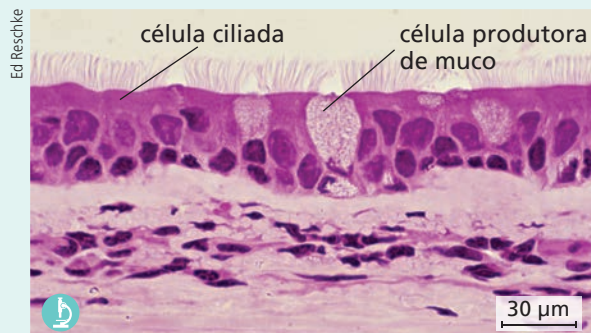
Algumas equipes de futebol têm preferido chegar a cidades de altitude elevada momentos antes do jogo, alegando que os jogadores serão menos afetados pelo baixo teor de  $O_2$  no ar do que se chegarem um dia antes. Compare esse procedimento com a prática da “aclimação”. Discuta em sala as vantagens e desvantagens desses procedimentos.

Veja comentários no Manual.

1. a) Tecido epitelial de revestimento: células justapostas, com pouca substância intercelular. No caso da traqueia, esse tecido possui células ciliadas e células produtoras de muco.

## Revendo e aplicando conceitos

1. Veja a seguir uma imagem de corte histológico da traqueia do ser humano.



2. a) Na inspiração, as costelas estão levantadas, o que aumenta o volume da caixa torácica. Na expiração, as costelas se abaixam e a caixa torácica tem o seu volume reduzido.

- a. Liste algumas características e funções desse tecido.
  - b. Por que o hábito de fumar é prejudicial a esse tecido?
2. Mesmo sentado, inspire e expire lentamente uma vez, prestando atenção aos movimentos das costelas. Depois disso e utilizando o que aprendeu neste capítulo, responda às questões seguintes.
    - a. Descreva o movimento das costelas na inspiração e na expiração.
    - b. Explique a relação entre os movimentos das costelas e do diafragma com a ventilação pulmonar.
    - c. Explique como o sistema nervoso controla a inspiração e a expiração.
  3. Algumas doenças decorrem de problemas na produção de um determinado tipo de célula do sangue, ou seja, uma das vias da hematopoiese é alterada. É o caso da leucemia, caracterizada pela produção descontrolada de leucócitos. Para alguns tipos de leucemia, os médicos indicam o transplante de medula óssea: substituição da medula óssea deficitária por células normais de medula óssea, que podem ser obtidas do próprio paciente ou de um doador. Sabendo disso, responda:
    - a. O que é hematopoiese?
    - b. Quais são os tipos celulares do sangue? Quais são suas funções?
    - c. Explique por que, em alguns casos, o transplante de medula óssea pode normalizar a produção de células sanguíneas.
  4. Um vaso sanguíneo liga o pulmão direito ao coração, transportando sangue rico em oxigênio. Responda:

4. a) Veia pulmonar, pois se trata de um vaso que transporta sangue para o coração, e o sangue é rico em  $O_2$ . As veias possuem paredes com camada muscular menos espessa que a das artérias e o sangue corre sob menor pressão.

1. b) A secreção de muco aumenta e as células ciliadas morrem, sendo substituídas por outros tipos celulares. Essas alterações tornam o fumante mais vulnerável a infecções no sistema respiratório.

- a. Que tipo de vaso sanguíneo é esse: artéria ou veia? Justifique sua resposta e relacione algumas características desse tipo de vaso.
  - b. Em qual cavidade do coração esse vaso deve desembocar?
5. Observe a figura abaixo, que representa uma veia e a musculatura esquelética da perna em duas situações: quando a pessoa está parada, em repouso, e quando a pessoa dá um passo, contraindo os músculos da perna.



6. a) O cálcio é fundamental para desencadear a coagulação sanguínea e, com sua deficiência no organismo, a formação de coágulos pode ser prejudicada.

- a. Explique por que pessoas que não conseguem contrair os músculos da perna, por lesão ou doença, apresentam retorno do sangue mais lento e podem desenvolver problemas circulatórios.
  - b. Qual é a função das válvulas no interior da veia?
6. Sobre o processo de coagulação sanguínea, responda.
    - a. Quais seriam as consequências da deficiência de cálcio no sangue para o processo de coagulação?
    - b. Existem situações em que o organismo promove a ativação de proteínas envolvidas na coagulação sem a ocorrência de lesões em vasos sanguíneos. Quais consequências você acha que seriam observadas nessa situação? Justifique sua resposta.
  7. O edema é um acúmulo excessivo de líquido nos tecidos e pode ser causado, entre outros fatores, por uma obstrução do sistema linfático, como um linfonodo infectado ou um vaso linfático bloqueado. Sabendo disso, responda:
    - a. Qual é a função do sistema linfático?
    - b. O que são linfonodos?

7. a) Drenagem do líquido intersticial e combate aos elementos estranhos ao organismo pela ação de linfócitos.

7. b) Estruturas do sistema linfático que abrigam linfócitos.

6. b) Formação de coágulos que podem obstruir vasos sanguíneos e causar problemas como o acidente vascular cerebral (AVC).

7. c) As filárias alojam-se nos vasos linfáticos, podendo causar sua ruptura. Com isso, a linfa não é recolhida e o líquido acumula-se nos tecidos.

9. a) A degradação das proteínas da carne tem como resultado o aumento da ureia no sangue. O excesso de ureia é eliminado pela urina.

c. Na filariose, doença causada pelos vermes conhecidos por filárias, um dos principais sintomas é o edema, geralmente nas pernas, que pode se agravar e ser chamado de elefantíase. Que parte do sistema linfático é prejudicada pelo verme causador da filariose? Se necessário, consulte em livros o ciclo de vida desse verme.

8. Consulte o Manual.

8. O sangue é levado até os rins através da artéria renal. Existe diferença na composição do sangue que entra nos rins e na do sangue que deles sai? Explique.

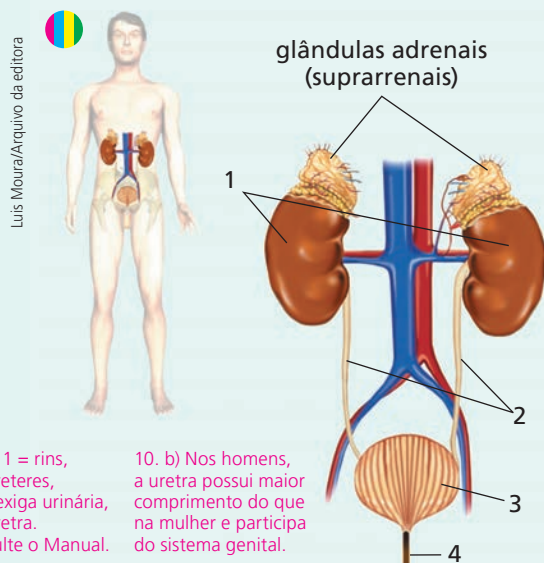
9. Jonas e José foram a um churrasco em um domingo à tarde. Jonas ingeriu muitos copos de líquido em um curto período de tempo e logo sentiu necessidade de urinar. José, no entanto, ocupou-se de comer uma boa quantidade de carne, não ingerindo líquidos e não sentindo desejo de urinar durante à tarde. Explique:

a. a relação entre as proteínas da carne do churrasco com a eliminação de ureia pela urina;

b. a maior produção de urina por Jonas, relacionando-a com a secreção do hormônio antidiurético.

9. b) Consulte o Manual.

10. Observe a figura abaixo que representa o sistema urinário humano e as glândulas adrenais. Responda:



10. a) 1 = rins, 2 = ureteres, 3 = bexiga urinária, 4 = uretra. Consulte o Manual.

10. b) Nos homens, a uretra possui maior comprimento do que na mulher e participa do sistema genital.

a. Como são chamadas as estruturas 1, 2, 3 e 4? Qual é a função de cada uma delas?

b. A estrutura 4 apresenta diferenças no homem e na mulher. Que diferenças são essas?

11. Explique: 11. a) Sístole: contração das câmaras cardíacas. A diástole ocorre quando as cavidades cardíacas relaxam.

a. O que é sístole? O que é diástole?

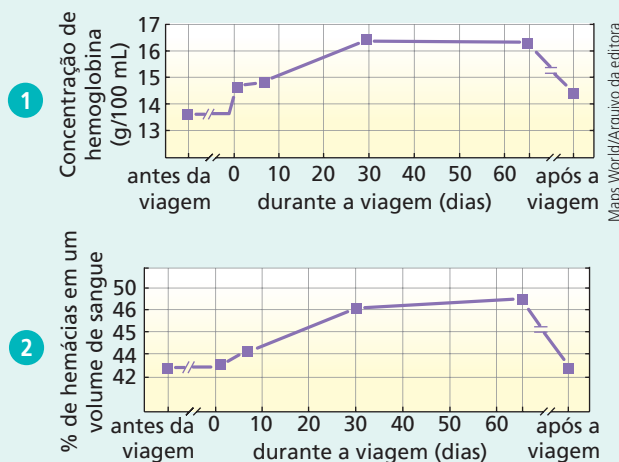
b. Considerando a pressão sanguínea nas artérias, por que a pressão sistólica é maior do que a pressão diastólica?

11. b) As espessas paredes das artérias suportam a grande pressão do sangue que sai dos ventrículos. Na diástole, há relaxamento das paredes das artérias e a pressão sanguínea cai.

## Trabalhando com gráficos

12. Consulte o Manual.

12. Os gráficos a seguir mostram os efeitos da altitude nas concentrações de hemoglobina (gráfico 1) e de hemácias (gráfico 2) em um grupo de mulheres jovens e saudáveis. As mulheres eram habitantes de uma cidade localizada a cerca de 200 m acima do nível do mar e permaneceram 10 semanas em uma montanha de altitude superior a 4200 m.

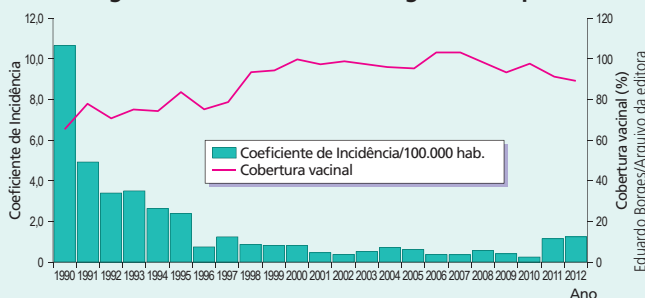


Fonte: McARDLE, W.; KATCH, F.; KATCH, V. *Fisiologia do exercício: energia, nutrição e desempenho humano*. RJ: Guanabara Koogan, 1998, p. 467.

Leia o texto "A altitude e a produção de hemácias", na seção *Leitura* deste capítulo, e explique o que se observa em cada gráfico nos seguintes momentos: durante a viagem e após a viagem.

13. A coqueluche é uma doença causada pela bactéria *Bordetella pertussis*, causando tosse seca persistente e podendo levar à morte. Existe vacina, que deve ser aplicada a partir dos 2 meses de idade, em 3 doses. Analise o gráfico abaixo.

### Relação entre vacinação e casos de coqueluche registrados no Brasil, ao longo do tempo



Fonte: Ministério da Saúde. Disponível em: <<https://cievspalmas.wordpress.com/2013/02/08/ministerio-da-saude-alerta-sobre-a-situacao-epidemiologica-da-coqueluche-no-brasil/>>. Acesso em: 27 fev. 2016.



13. a) Com o aumento da cobertura de vacinação (de 70% a quase 100%), houve a redução do número de casos de coqueluche, entre 1990 e 2012.
13. b) A vacinação é feita a partir dos 2 meses de idade e exige 3 doses para ser eficaz.

13. c) As vacinas garantem imunidade, possibilitando o rápido combate da infecção pelo organismo no contato com o agente infeccioso.

- a. Qual é a relação entre a vacinação e o número de casos de coqueluche no Brasil?
- b. Em 2011 e 2012, houve um súbito aumento de casos de coqueluche, em sua maioria atingindo bebês com menos de 2 meses. Em 2012, foram registradas 74 mortes por coqueluche no Brasil. Elabore uma explicação para este fato.
- c. Por que a vacinação é uma estratégia eficaz para a erradicação de uma doença em uma população?

## Ciência, Tecnologia e Sociedade

14. Observe as fotos abaixo que retratam um pulmão humano normal de um adulto não fumante (1) e o pulmão de um adulto fumante (2), ambos em corte longitudinal.



- a. Relacione algumas das consequências do hábito de fumar para o sistema respiratório humano.
14. a) Consulte o Manual.
- b. Explique por que os fumantes não possuem problemas de saúde apenas no sistema respiratório e qual é a relação entre o fumo e a elevada incidência de câncer.
14. c) Resposta pessoal. Veja comentários no Manual.
- c. O Brasil possui, desde 2011, uma lei antifumo, proibindo o ato de fumar em espaços total ou parcialmente fechados e a ausência de locais para fumar ("fumódromos") em estabelecimentos comerciais. O objetivo é tornar os ambientes coletivos livres da fumaça dos cigarros. Converse com seus colegas a respeito dessa lei e seus benefícios para a saúde pública. Como resultado, elaborem um folheto explicando a importância da lei antifumo para ser distribuído em pontos comerciais de seu bairro.

Para mais informações, consulte o site: <<http://portal.arquivos.saude.gov.br/campanhas/leiantifumo/index.html>>. Acesso em: 30 abr. 2016.

15. O cartaz a seguir esclarece, usando a Língua Brasileira de Sinais (Libras), a importância do uso de camisinha em todas as relações sexuais.

14. b) O cigarro possui diversas substâncias cancerígenas, como a nicotina e o alcatrão. Como essas substâncias circulam no sangue, podem afetar tecidos de diversas partes do corpo.

15. a) O HIV está presente no sangue, no sêmen, na secreção vaginal. A camisinha envolve o pênis (ou a vagina, no caso da feminina) e impede que essas secreções entrem em contato com o epitélio da vagina ou do pênis do parceiro.
15. b) O HIV infecta e destrói linfócitos T.

15. c) Resposta pessoal. Veja comentários no Manual.



- a. Explique por que o uso de camisinha previne a aids.
- b. Como o vírus causador da aids afeta o sistema imunitário do ser humano?
- c. "Viver com aids é possível. Com o preconceito, não." Comente essa frase, publicada em uma campanha do governo federal.

## Questões do Enem e de vestibulares

16. (Enem-2009) Para que todos os órgãos do corpo humano funcionem em boas condições, é necessário que a temperatura do corpo fique sempre entre 36 °C e 37 °C. Para manter-se dentro dessa faixa, em dias de muito calor ou durante intensos exercícios físicos, uma série de mecanismos fisiológicos é acionada. Pode-se citar como o principal responsável pela manutenção da temperatura corporal humana o sistema
- a. digestório, pois produz enzimas que atuam na quebra de alimentos calóricos.
- b. imunológico, pois suas células agem no sangue, diminuindo a condução do calor. 16. c
- c. nervoso, pois promove a sudorese, que permite perda de calor por meio da evaporação da água.
- d. reprodutor, pois secreta hormônios que alteram a temperatura, principalmente durante a menopausa.
- e. endócrino, pois fabrica anticorpos que, por sua vez, atuam na variação do diâmetro dos vasos periféricos.

17. b) Ocorre mistura de sangue rico em  $O_2$ , que está no ventrículo esquerdo, com o sangue pobre em  $O_2$ , que está no ventrículo direito. Isso diminui a eficiência do transporte de gases pelo sangue.

**17.** (Fuvest-SP) Algumas crianças nascem com um defeito no coração denominado comunicação interventricular, ou seja, uma comunicação entre os dois ventrículos. 17. a) Consulte o Manual.

**a.** Faça um esquema do coração humano, indicando suas câmaras e como normalmente se comunicam. Represente nele a comunicação interventricular.

**b.** Que consequência imediata o defeito traz para a circulação sanguínea da criança?

**18.** (Enem-2015) De acordo com estatísticas do Ministério da Saúde, cerca de 5% das pessoas com dengue hemorrágica morrem. A dengue hemorrágica tem como base fisiopatológica uma resposta imune anômala, causando aumento da permeabilidade de vasos sanguíneos, queda da pressão arterial e manifestações hemorrágicas, podendo ocorrer manchas vermelhas na pele e sangramento pelo nariz, boca e gengivas. O hemograma do paciente pode apresentar como resultado leucopenia (diminuição do número de glóbulos brancos), linfocitose (aumento do número de linfócitos), aumento do hematócrito e trombocitopenia (contagem de plaquetas abaixo de 100 000/mm<sup>3</sup>).

Disponível em: <www.ciencianews.com.br>. Acesso em: 28 fev. 2012 (adaptado).

Relacionando os sintomas apresentados pelo paciente com dengue hemorrágica e os possíveis achados do hemograma, constata-se que

**a.** as manifestações febris ocorrem em função da diminuição dos glóbulos brancos, uma vez que estes controlam a temperatura do corpo.

**b.** a queda na pressão arterial é ocasionada pelo aumento do número de linfócitos, que têm como função principal a produção de anticorpos.

**c.** o sangramento pelo nariz, pela boca e gengiva é ocasionado pela quantidade reduzida de plaquetas, que são responsáveis pelo transporte de oxigênio.

18. d

**d.** as manifestações hemorrágicas estão associadas à trombocitopenia, uma vez que as plaquetas estão envolvidas na cascata de coagulação sanguínea.

**e.** os sangramentos observados ocorrem em função da linfocitose, uma vez que os linfócitos são responsáveis pela manutenção da integridade dos vasos sanguíneos.

**19.** (Enem-2015) Durante a aula, um professor apresentou uma pesquisa nacional que mostrava que o consumo de sódio pelos adolescentes brasileiros é superior ao determinado pela Organização Mundial de Saúde. O professor, então, destacou que esse hábito deve ser evitado.

A doença associada a esse hábito é a

**a.** obesidade.

19. d

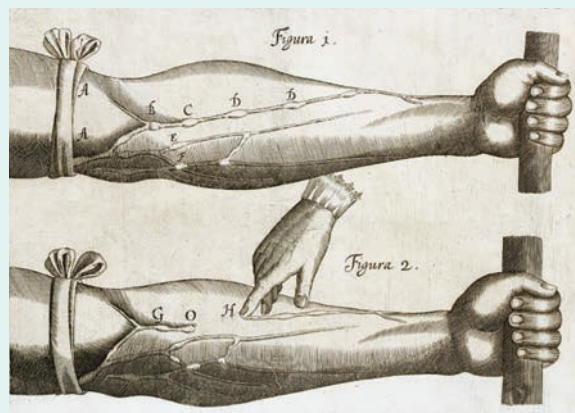
**d.** hipertensão arterial.

**b.** osteoporose.

**e.** hipercolesterolemia.

**c.** diabetes tipo II.

**20.** (Enem-2013) A imagem representa uma ilustração retirada do livro *De Motu Cordis*, de autoria do médico inglês William Harvey, que fez importantes contribuições para o entendimento do processo de circulação do sangue no corpo humano. No experimento ilustrado, Harvey, após aplicar um torniquete (A) no braço de um voluntário e esperar alguns vasos incharem, pressionava-os em um ponto (H). Mantendo o ponto pressionado, deslocava o conteúdo de sangue em direção ao cotovelo, percebendo que um trecho do vaso sanguíneo permanecia vazio após esse processo (H-O).



Wellcome Library, London

Disponível em: <www.answers.com>. Acesso em: 18 dez. 2012 (adaptado).

A demonstração de Harvey permite estabelecer a relação entre circulação sanguínea e

**a.** pressão arterial.

**d.** contração cardíaca.

20. b

**b.** válvulas venosas.

**e.** transporte de gases.

**c.** circulação linfática.

**21.** (Enem-2015) Durante uma expedição, um grupo de estudantes perdeu-se de seu guia. Ao longo do dia em que esse grupo estava perdido, sem água e debaixo de sol, os estudantes passaram a sentir cada vez mais sede. Consequentemente, o sistema excretor desses indivíduos teve um acréscimo em um de seus processos funcionais.

Nessa situação o sistema excretor dos estudantes

**a.** aumentou a filtração glomerular.

**b.** produziu maior volume de urina.

**c.** produziu urina com menos ureia.

21. d

**d.** produziu urina com maior concentração de sais.

**e.** reduziu a reabsorção de glicose e aminoácidos.

# Controle hormonal e reprodução

Como informação adicional para seu aprofundamento, existem hormônios locais e hormônios gerais. Os hormônios locais são aqueles liberados por uma célula, ou um pequeno grupo de células, que atuam em células ou tecidos adjacentes. Um exemplo é a colecistocinina, secretada pelo intestino delgado, que estimula a contração da vesícula biliar e a secreção de enzimas pelo pâncreas, sendo, assim, um hormônio de controle da sincronia das funções digestivas. A maioria dos hormônios pode ser classificada como geral, pois circula na corrente sanguínea e pode ter células-alvo em locais distantes de seu local de produção, uma glândula endócrina.

## 1 Controle hormonal



COMENTÁRIOS  
GERAIS

No capítulo 2, vimos que a coordenação do funcionamento do organismo é realizada pelos sistemas nervoso e endócrino. O sistema nervoso realiza o controle das diversas funções por meio dos impulsos nervosos. O sistema endócrino, por sua vez, exerce o controle hormonal, ou seja, sua ação acontece por meio de hormônios.

**Hormônios** são substâncias capazes de alterar o metabolismo celular e são produzidos por células das **glândulas endócrinas** (veja a etapa 1, na figura ao lado). Eles são liberados dessas glândulas diretamente no sangue (etapa 2) e atuam em “células-alvo”, geralmente distantes do seu local de produção (etapa 3). Uma vez reconhecidos pelos receptores das células-alvo, os hormônios desencadeiam uma série de reações químicas, exercendo ação de controle no metabolismo celular; seu efeito pode ser imediato ou demorar vários dias para aparecer, persistindo por meses ou até anos, dependendo do hormônio.

As **glândulas exócrinas**, ao contrário das glândulas endócrinas, não produzem hormônios e liberam suas secreções por ductos ou canais, como é o caso das glândulas lacrimais, sudoríparas e salivares.

Existe uma **glândula mista**, representada pelo pâncreas, que apresenta uma porção endócrina, que secreta hormônios, e uma porção exócrina, que secreta suco pancreático no duodeno através do ducto pancreático.

Além das glândulas endócrinas, existem órgãos com grupos de células que secretam hormônios, como é o caso do coração, do estômago, do intestino delgado e dos rins. Os hormônios secretados por esses órgãos geralmente exercem efeitos locais. No capítulo 3, vimos um exemplo de como o estômago e o duodeno lançam hormônios que regulam as atividades digestivas durante a passagem do alimento. O hipotálamo, localizado na parte central do sistema nervoso, também produz hormônios, como veremos mais adiante.

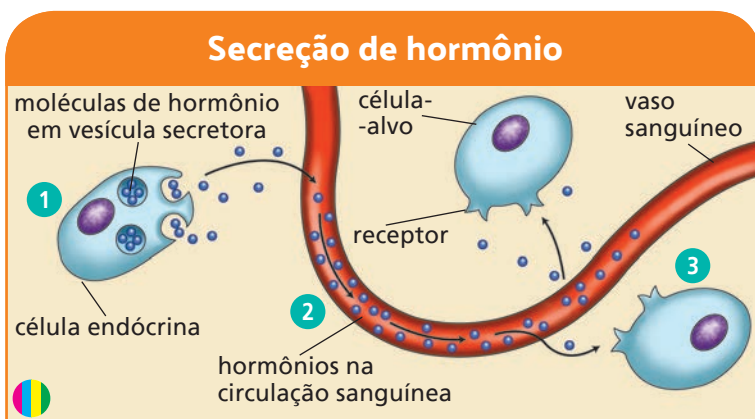
O controle hormonal é realizado, portanto, pelo **sistema endócrino**, composto pelas glândulas e outras estruturas com função endócrina do nosso organismo.



### CURIOSIDADE

#### Composição química dos hormônios

A maioria dos hormônios produzidos no corpo humano é de proteínas ou derivados delas – como os hormônios T3 e T4, derivados do aminoácido tirosina. Há também os hormônios esteroides, que são lipídicos, semelhantes à molécula de colesterol.



Paulo Cesar Pereira/Arquivo da editora

Esquema ilustrando de modo simplificado a **liberação de hormônios por célula de uma glândula endócrina**.

Veja no Manual comentários a respeito do conceito de glândula mista.

As figuras estão representadas em diferentes escalas.



## ATENÇÃO

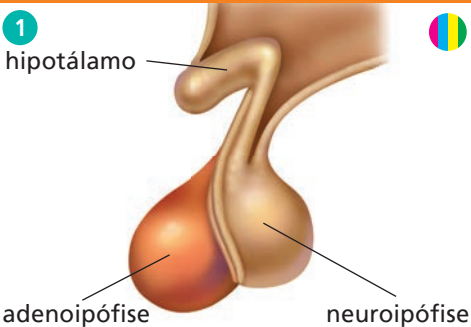
Para cada hormônio, existem os níveis normalmente observados no sangue de pessoas saudáveis, de uma determinada faixa etária. Níveis menores ou maiores do que aqueles considerados normais caracterizam o desequilíbrio hormonal. As causas podem ser diversas: um tumor em uma glândula, um problema na parte do sistema nervoso que controla a glândula ou até mesmo a falta de substâncias necessárias à produção do hormônio, deficientes na alimentação.

## 2 Sistema endócrino do ser humano

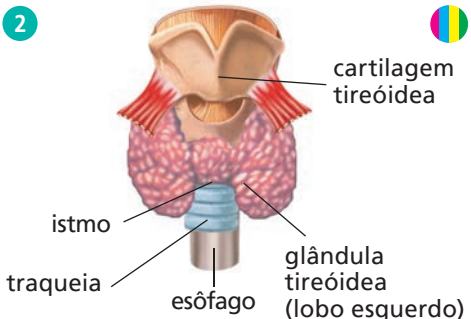
A figura a seguir ilustra a localização das glândulas endócrinas humanas que estudaremos neste capítulo. No organismo da mulher, além das estruturas apresentadas, existe também a placenta, importante na produção de hormônios durante a gravidez, como veremos mais adiante.

### Sistema endócrino do ser humano

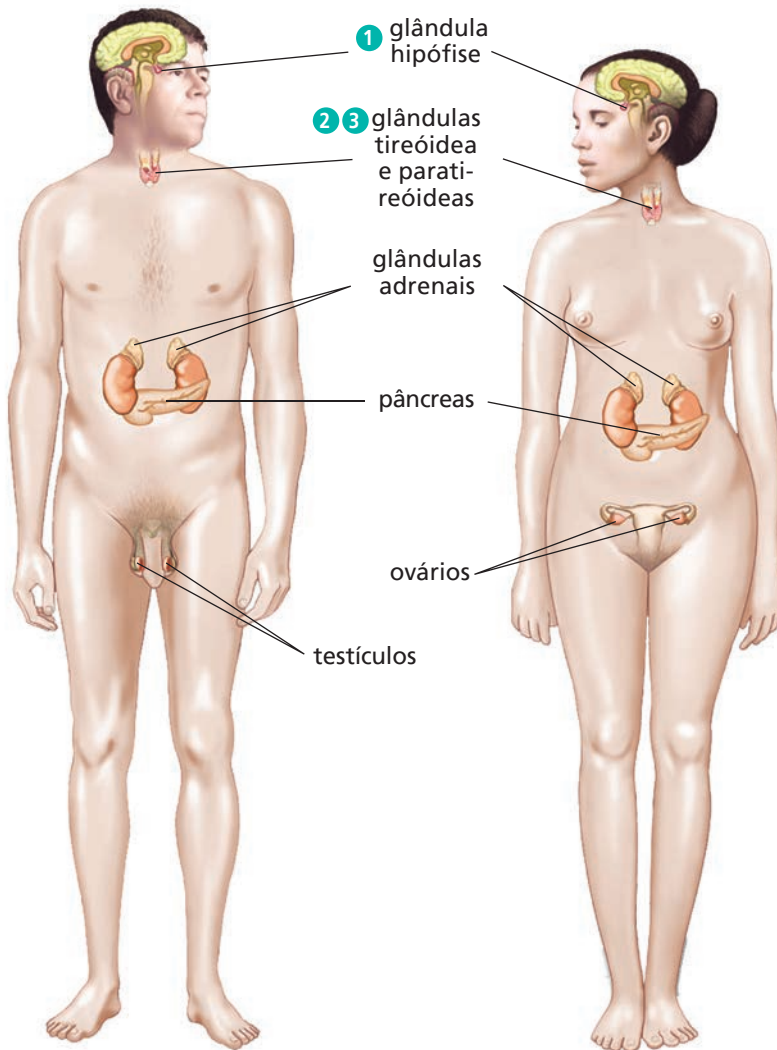
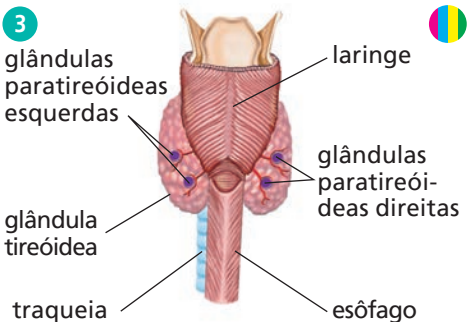
#### Glândula hipófise



#### Glândula tireóide (vista anterior)



#### Glândulas paratireóideas (vista posterior)



Esquema mostrando a localização de **glândulas endócrinas do ser humano**, representadas por transparência. O encéfalo está representado em corte longitudinal para visualização da glândula hipófise. Ao lado, ilustrações das glândulas hipófise, tireóide e paratireóideas. Os ovários são glândulas exclusivas das mulheres e os testículos, dos homens.

Paulo César Pereira/Arquivo da editora

As figuras estão representadas em diferentes escalas.

Veja mais informações a respeito dos hormônios no Manual.

## 2.1 Glândulas e funções dos hormônios secretados por elas

As principais glândulas endócrinas do ser humano e os hormônios produzidos por elas estão organizados na tabela a seguir.

Glândula	Hormônio	Função
Adenoipófise ou hipófise anterior	<b>GH:</b> hormônio do crescimento ou somatotropina	Estimula o crescimento de diversos tecidos do corpo, especialmente de ossos e músculos. A deficiência na secreção de GH na infância resulta em nanismo. A secreção aumentada de GH na infância resulta em gigantismo. Doses elevadas do hormônio na idade adulta resultam em acromegalia, que é o crescimento anormal de certas partes do corpo, como mandíbula, mãos e pés.
	<b>TSH:</b> hormônio estimulador da glândula tireóidea	Estimula a liberação dos hormônios da glândula tireóidea.
	<b>ACTH:</b> hormônio estimulador das glândulas adrenais	Estimula a liberação dos hormônios das glândulas adrenais (suprarrenais).
	<b>FSH:</b> hormônio estimulador dos folículos ovarianos	Nas mulheres, promove a maturação dos ovócitos II nos ovários (como veremos mais adiante neste capítulo); nos homens, contribui para a produção de espermatozoides nos testículos na presença de outro hormônio, a testosterona.
	<b>LH:</b> hormônio luteinizante	Atua nos ovários e nos testículos, estimulando a liberação de hormônios sexuais por essas gônadas. Nas mulheres, estimula a produção de corpo lúteo no ovário durante o ciclo menstrual, como veremos mais adiante neste capítulo.
	<b>Prolactina</b>	Estimula a produção de leite pelas glândulas mamárias em mulheres durante a gestação. O nível de prolactina no organismo materno torna-se máximo alguns dias após o parto e depois começa a baixar. No entanto, toda vez que a mãe amamenta, há um rápido aumento na secreção, suficiente para estimular a produção de leite para a próxima mamada. A prolactina também está presente nos homens, porém em baixíssimas quantidades e não estimula a produção de leite.



Rune Hellestad/Corbis/Latinstock

^ **Homem com gigantismo.** Esta foto, tirada em 2011, mostra o turco Sultan Kösen, que mede 2,51 m de altura. Ele tinha um tumor na glândula hipófise. Após tratamento, ele parou de crescer, aos 29 anos de idade.



### ATENÇÃO

Os especialistas recomendam que o leite materno seja o alimento **exclusivo** do bebê até os 6 meses de vida. O leite materno mata a sede, pois é constituído por cerca de 80% de água, e possui todos os nutrientes que o bebê precisa (carboidratos, lipídios e proteínas). Contém também **anticorpos**, fato importante se considerarmos que, até os 6 meses de idade, o sistema imunológico da criança é pouco desenvolvido.



Os hormônios **prolactina** e **ocitocina** estão envolvidos na amamentação.



**PENSE E RESPONDA**

Em seu caderno, elabore uma explicação para o seguinte fato: algumas mulheres com dificuldades no momento do nascimento do bebê podem receber injeções de ocitocina, dependendo do protocolo médico. Relacione-o com os dados referentes à ação desse hormônio presentes na tabela.

A ocitocina estimula as contrações uterinas que promovem o parto.

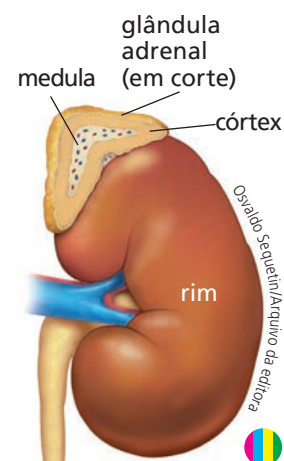


Distúrbios no funcionamento da glândula tireóidea podem ocasionar o **bócio**.

Glândula	Hormônio	Função
<b>Neuroipófise ou hipófise posterior:</b> armazena e libera hormônios produzidos por células do hipotálamo	<b>ADH:</b> hormônio antidiurético ou vasopressina	Aumenta a reabsorção de água nos túbulos renais e nos ductos coletores do nefro, resultando na produção de uma urina mais concentrada. A ausência do hormônio causa diabetes insípido. Nessa condição, a pessoa apresenta produção aumentada de urina e tem o seu volume sanguíneo diminuído, sentindo sede intensa e fraqueza geral. A causa pode ser uma lesão na neuroipófise ou no hipotálamo.
	<b>Ocitocina</b>	Promove a contração dos músculos do útero e a ejeção do leite pelas glândulas mamárias em mulheres. A ocitocina também está presente nos homens, porém em baixíssimas concentrações e não atua nas glândulas mamárias, que são pouco desenvolvidas.
<b>Glândula tireóidea</b>	<b>T3</b> (tri-iodotironina) e <b>T4</b> (tiroxina)  Os números 3 e 4 referem-se ao número de átomos de iodo presentes na molécula desses hormônios.	Aumentam a taxa metabólica de células de vários órgãos. Na infância, esses hormônios atuam com o GH promovendo o crescimento do corpo. <b>O hipotireoidismo</b> ocorre quando os níveis de T3 e T4 no sangue tornam-se baixos. Durante a gestação ou na infância, causa o cretinismo, que pode comprometer o desenvolvimento físico e psíquico da criança, se não for tratado. No adulto, o hipotireoidismo resulta em cansaço excessivo, pele seca e bócio (inchaço na região do pescoço, relacionado a um aumento de tamanho da glândula tireóidea). <b>O hipertireoidismo</b> ocorre quando a glândula torna-se muito ativa. Os indivíduos afetados geralmente apresentam nervosismo, perda de peso, podendo ocorrer formação do bócio. A falta de iodo na alimentação de uma população pode levar ao "bócio endêmico". Para controlar o problema, uma lei determina que no Brasil o sal de cozinha deve ser iodado. O sal é consumido por todos diariamente e o iodo não altera o preço ou as propriedades do produto.
	<b>Calcitonina</b>	Regula os níveis de cálcio no sangue, promovendo a sua retirada do sangue e sua deposição nos ossos.



Glândula	Hormônio	Função
<b>Glândulas paratireóideas:</b> 4 pequenas glândulas localizadas na região posterior da glândula tireóidea	<b>Paratormônio</b>	Retira cálcio dos ossos, elevando a sua concentração no sangue. O paratormônio e a calcitonina atuam de forma antagônica, promovendo o equilíbrio da concentração de cálcio no sangue.
<b>Medula da adrenal (suprarrenal)</b>	<b>Adrenalina</b>	Promove reações de alerta: aumento dos ritmos cardíaco e respiratório, entre outros. A liberação de adrenalina pelas glândulas adrenais gera efeitos mais intensos e prolongados que a liberação da substância nas sinapses nervosas.
<b>Córtex da adrenal (suprarrenal)</b>	<b>Glicocorticoides</b>	Auxiliam na manutenção da glicemia.
	<b>Mineralocorticoides</b>	Regulam níveis de íons de sódio e potássio no sangue.
	<b>Hormônios sexuais: androgênios (similares à testosterona), estrogênio e progesterona.</b>	Determinam caracteres sexuais secundários masculinos ou femininos (desenvolvimento de mamas, distribuição e quantidade de pelos etc.). Tanto o homem quanto a mulher produzem os três tipos de hormônios pelo córtex das glândulas adrenais (suprarrenais).
<b>Pâncreas</b>	<b>Insulina</b>	Promove a entrada de glicose nas células e a formação de glicogênio no fígado, gerando a diminuição da taxa de glicose no sangue. A deficiência na produção de insulina acarreta o diabetes mellitus tipo I.
	<b>Glucagon</b>	Promove, no fígado, a quebra do glicogênio em glicose durante os períodos de jejum, aumentando o nível de glicose no sangue.
<b>Ovários</b>	<b>Estrógeno</b>	No útero, estimula o desenvolvimento do endométrio na fase proliferativa do ciclo menstrual, como veremos mais adiante. Estimula o desenvolvimento de caracteres secundários femininos.
	<b>Progesterona</b>	Mantém o endométrio desenvolvido durante a fase secretora do ciclo menstrual. A queda nos níveis de estrógeno e progesterona ao final do ciclo menstrual acarreta a menstruação.
<b>Testículos</b>	<b>Testosterona</b>	Estimula o desenvolvimento do sistema genital masculino na puberdade, a produção de espermatozoides e o aparecimento dos caracteres secundários masculinos.



As **glândulas adrenais** ocorrem aos pares, cada uma localizada sobre um rim. Veja que ela possui duas regiões: a medula e o córtex, mais superficial.



Studio Lipov

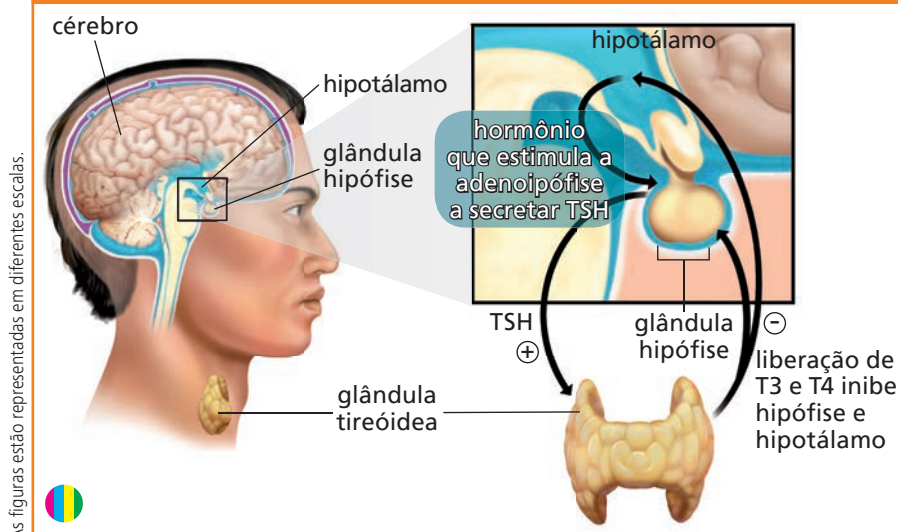
Após uma refeição, o nível do hormônio **insulina** no sangue aumenta. Durante os períodos de jejum, é o nível sanguíneo do hormônio **glucagon** que aumenta.

## 2.2 Regulação hormonal por *feedback*

O corpo humano possui mecanismos que garantem o equilíbrio das funções, mantendo as condições do meio interno dentro de limites normais. Esses mecanismos são controlados pelo **sistema nervoso**, que estudamos no capítulo 2, e pelos hormônios.

Vamos ver como os níveis de hormônios secretados por uma glândula são controlados pelo mecanismo de regulação conhecido como **sistema de retroalimentação** ou **feedback**.

### Exemplo de *feedback* negativo



Oswaldo Sequetin/Arquivo da editora

Esquema ilustrando o mecanismo de **feedback negativo** entre a adenoipófise e a glândula tireóidea.

O primeiro exemplo que vamos analisar é o da secreção dos hormônios **T3** e **T4** pela glândula tireóidea. Sob estímulo do hipotálamo, a adenoipófise secreta o TSH, hormônio que atua estimulando a glândula tireóidea. Essa secreção ocorre em resposta a uma baixa concentração dos hormônios tireóideos T3 e T4 no sangue.

Como consequência da liberação de TSH, há aumento na liberação de T3 e T4 para o sangue. O aumento da concentração dos hormônios tireóideos no sangue provoca a inibição do hipotálamo e da adenoipófise, diminuindo a secreção de TSH. Com isso, há redução na secreção de T3 e T4 pela glândula tireóidea, e assim por diante. Esse mecanismo, em que um hormônio limita a sua própria produção, é chamado **feedback negativo**.

Mecanismo semelhante regula a liberação de outros hormônios, como os corticosteroides, produzidos pelo córtex das glândulas adrenais (suprarrenais). O **hormônio ACTH**, secretado pela adenoipófise, estimula a secreção dos corticosteroides; quando os níveis dos hormônios tornam-se aumentados no sangue, a liberação de ACTH é inibida por **feedback negativo**.

### Feedback negativo no controle da glicemia

Outro exemplo de retroalimentação negativa é o da secreção dos hormônios pancreáticos insulina e glucagon, controlada pelo nível de glicose do sangue, ou **glicemia**. O baixo nível de glicose no sangue estimula a secreção de glucagon, enquanto o alto nível de glicose no sangue estimula a secreção de insulina. Desse modo, a glicemia é mantida dentro de certos limites considerados normais.

A taxa de glicose no sangue torna-se elevada após uma refeição, pois com a digestão dos carboidratos presentes nos alimentos, moléculas de glicose passam do intestino delgado para o interior dos vasos sanguíneos. A glicose vai sendo consumida pelos diferentes tecidos e armazenada no fígado, na forma de glicogênio. Assim, a taxa de glicose no sangue apresenta-se baixa durante os períodos de jejum.

A secreção de insulina e glucagon também é regulada pelo sistema nervoso – mais especificamente, pelas divisões simpática e parassimpática. A divisão parassimpática estimula a secreção de insulina no momento da digestão de um alimento, por exemplo. Os nervos da divisão simpática estimulam a liberação de glucagon em certos momentos, como durante a prática de uma atividade física.

A queda intensa da glicemia prejudica o funcionamento do organismo, pois a taxa de glicose circulando no sangue passa a ser pequena para sustentar o metabolismo de todos os tecidos. Tal situação pode levar a desmaios, entre outras consequências. Por outro lado, a glicemia em níveis superiores a certos limites caracteriza uma grave doença, o diabetes.

Veja mais informações a respeito do diabetes na seção *Vamos criticar o que estudamos?*, ao final deste capítulo.

### 3 Ciclo menstrual

Os **ovários**, além de produzirem os gametas femininos, produzem os hormônios sexuais femininos – estrógeno e progesterona – sob a regulação dos hormônios FSH (folículo estimulante) e LH (luteinizante), secretados pela adenoipófise.

Durante a vida fetal, o FSH estimula os ovários a produzirem os gametas, cada um circundado por uma camada de células, o **folículo ovariano**. No nascimento, a menina possui, em seus dois ovários, cerca de 2 milhões de ovócitos I (ovócitos primários), células que têm o potencial de se transformar em óvulos. Muitas degeneram até a puberdade, época em que a secreção dos hormônios da glândula hipófise e dos hormônios sexuais começa a aumentar.

Na puberdade, a **menarca** é a fase em que se iniciam os ciclos menstruais. Define-se a menarca a partir da primeira menstruação apresentada pela jovem.

Durante o ciclo menstrual, ocorrem alterações nos ovários e no útero, comandadas por diferenças na taxa dos hormônios ao longo do ciclo. Vamos analisar como exemplo um ciclo menstrual regular de 28 dias, sendo que o 1º dia do ciclo corresponde ao primeiro dia da menstruação.

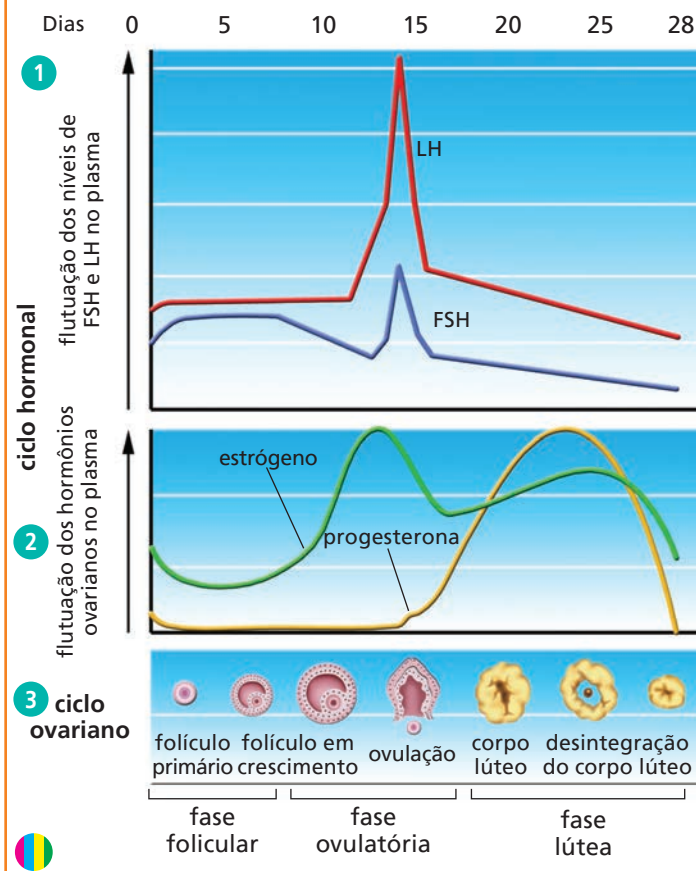
Alguns dias após a menstruação, os níveis de FSH e LH no sangue começam a aumentar (veja o gráfico 1). O **FSH** é responsável pelo crescimento de vários folículos ovarianos em um dos ovários. Esses folículos aumentam de tamanho e passam a secretar o hormônio estrógeno (veja os gráficos 2 e 3).

O aumento da taxa de estrógeno liberado pelos folículos ovarianos provoca diminuição da secreção de FSH (principalmente) e de LH pela adenoipófise, por *feedback* negativo. Aproximadamente uma semana depois, um dos folículos ovarianos passa a apresentar maior desenvolvimento, enquanto os outros sofrem involução. Apenas o folículo mais desenvolvido continua a liberar estrógeno.

A **ovulação**, que corresponde à expulsão do ovócito de dentro do folículo, ocorre em torno do 14º dia do ciclo menstrual. Nos dias que antecedem esse evento, observa-se aumento acelerado na concentração de LH e, menos intensamente, de FSH no sangue. O **LH** estimula células do folículo a secretar menos estrógeno e a iniciar a produção do hormônio progesterona. Esse processo culmina com a ruptura do folículo e a eliminação do ovócito, que é dirigido para a tuba uterina.

Logo após a ovulação, as células do folículo aumentam de tamanho e passam a armazenar lipídios, adquirindo aspecto amarelado. Essa estrutura passa a ser chamada **corpo amarelo** ou **corpo lúteo**, e secreta grande quantidade de estrógeno e progesterona, o que mantém inibida a liberação de FSH e LH pela adenoipófise por *feedback* negativo. Mas, devido à queda na secreção de LH, o corpo lúteo começa a degenerar cerca de uma semana depois da ovulação, perdendo sua função secretora.

#### Alterações hormonais e ovarianas durante o ciclo menstrual



**MULTIMÍDIA**

**Planeta Bio – Reprodução**

Reprodução

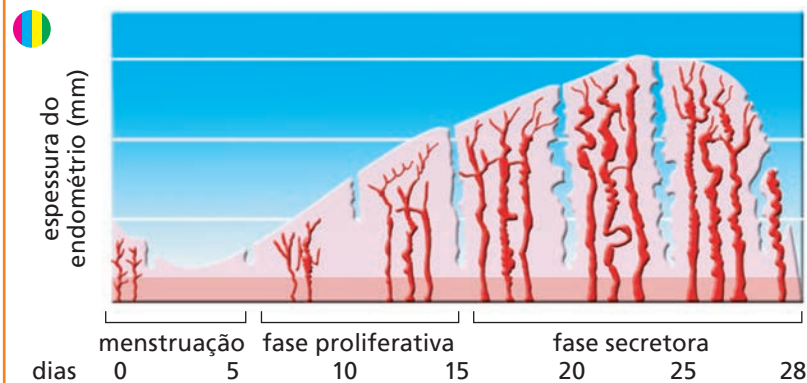
< <http://www.planetabio.com/reproducao.html> >

Neste infográfico animado, você pode conhecer detalhes dos sistemas genitais masculino e feminino, assim como as etapas do ciclo menstrual.

Acesso em: 01 abr. 2016.



## Ciclo uterino



A consequência da degeneração do corpo lúteo é a queda na produção de estrógeno e progesterona, que resulta na menstruação. A secreção de FSH e LH é estimulada, dando origem a um novo ciclo – caso não tenha ocorrido fecundação do óvulo e implantação do embrião no útero.

As variações na concentração de estrógeno e progesterona durante o ciclo menstrual promovem alterações na parede do útero, que é revestida por um tecido intensamente vascularizado chamado **endométrio**. Assim, pode-se

definir que as variações hormonais geram um ciclo ovariano, que acabamos de descrever, e um ciclo uterino. Você pode acompanhar o ciclo uterino no gráfico acima.

Antes da ovulação, o estrógeno liberado pelo folículo ovariano em crescimento promove o desenvolvimento do endométrio, caracterizando a fase proliferativa. Após a ovulação, o estrógeno e a progesterona secretados pelo corpo lúteo promovem aumento adicional na espessura do endométrio – é a fase secretora, na qual surgem novos vasos sanguíneos no endométrio. Essas transformações tornam o útero o ambiente ideal para a implantação do embrião. Se ocorrer a fecundação e a formação do embrião nessa fase do ciclo uterino, o embrião pode fixar-se ao endométrio.

Se o ovócito II não for fecundado, ele degenera; no ovário, o corpo lúteo também degenera e as taxas de estrógeno e progesterona diminuem, o que provoca a descamação do endométrio. A **menstruação** corresponde à eliminação da camada superficial do endométrio, com perda de sangue, por contrações da musculatura uterina.

Em determinada idade, os ciclos começam a se tornar irregulares, sem a ocorrência de ovulação. Após alguns meses, os ciclos cessam por completo e a concentração dos hormônios sexuais femininos torna-se muito baixa: é a **menopausa**, que geralmente acontece por volta dos 45 aos 55 anos de idade da mulher. A falta de estrógeno está relacionada com diversos sintomas que caracterizam a menopausa, como ondas de calor, irritabilidade e ansiedade, entre outros. É importante ressaltar que os sintomas e sua intensidade variam de mulher para mulher.

### 3.1 Placenta

Havendo a fecundação e a instalação do embrião no endométrio, forma-se a placenta. Essa estrutura secreta o hormônio **gonadotropina coriônica**, conhecido pela sigla do nome em inglês: HCG. Ele atua sobre o corpo lúteo estimulando-o a liberar grande quantidade de estrógeno e progesterona, o que impede a ocorrência de menstruação. A HCG e a progesterona são os principais hormônios responsáveis pela manutenção da gravidez, pois promovem as condições uterinas ideais para o desenvolvimento do embrião. A HCG pode ser detectada no sangue e na urina, constituindo um dos principais testes de gravidez.

Após algumas semanas, a placenta deixa de secretar HCG e passa a liberar estrógeno e principalmente progesterona. O corpo lúteo sofre involução e a progesterona secretada pela placenta passa a exercer duas funções importantes, entre outras: promove crescimento e manutenção do endométrio e inibe contrações uterinas até o momento do parto, evitando abortos espontâneos.



#### ATENÇÃO

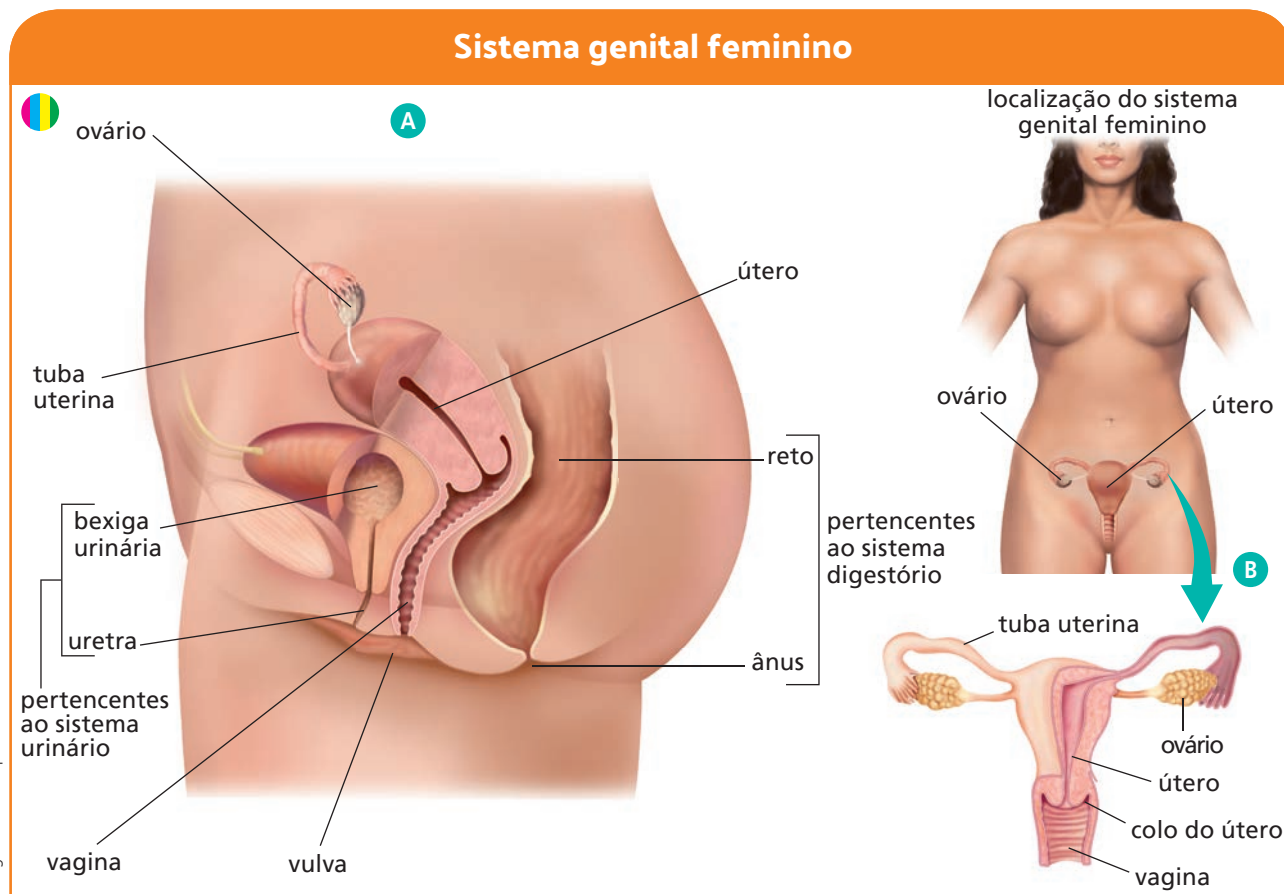
Logo no início da gestação, a concentração de HCG na urina é muito baixa, o que pode ser responsável por um falso resultado negativo nos testes de urina para detectar gravidez. Atualmente, embora o índice de resultados falsos positivos e falsos negativos nos testes de urina seja pequeno, o exame de sangue, solicitado pelo médico, é o mais seguro para obter confirmação de uma gravidez.

## 4 Reprodução humana

REFLEXÕES  
SOBRE O ENSINO  
DE BIOLOGIA

### 4.1 Sistema genital feminino

O sistema genital é o responsável pela reprodução e, por isso, é também conhecido como sistema reprodutor. O **sistema genital feminino** localiza-se na cavidade pélvica, sendo formado por um par de ovários, duas tubas uterinas, útero, vagina e vulva. Acompanhe a localização dessas estruturas na figura abaixo.



Osvaldo Sequeitin/Arquivo da editora

A abertura de cada **tuba uterina** apresenta projeções em forma de franjas que alcançam a superfície do ovário; no entanto, não há uma comunicação direta entre o ovário e a entrada da tuba uterina. O interior de cada tuba uterina é revestido por células ciliadas, que promovem o deslocamento do ovócito II eliminado pelo folículo ovariano em direção ao útero.

O **útero** é uma estrutura em forma de saco, delimitado por musculatura lisa e revestido internamente pelo endométrio. É onde normalmente o embrião formado após a fecundação se instala. Na gravidez, o útero aumenta de tamanho.

O útero termina em uma região denominada **colo uterino**, que se comunica com a **vagina**. Esta corresponde a um canal muscular por onde passa o bebê no momento do parto. Também é na vagina que o pênis é inserido durante o ato sexual e por onde é eliminado o sangue na menstruação.

A abertura da vagina localiza-se na vulva, formada pelos grandes e pequenos lábios e pelo clitóris. Os grandes e pequenos lábios protegem a entrada da vagina e o clitóris é uma estrutura rica em terminações nervosas, envolvida na estimulação da mulher durante o ato sexual.

Esquemas ilustrando o **sistema genital feminino**: (A) vista lateral, em corte; (B) vista frontal com parte das estruturas em corte. Na figura (A) estão ilustrados outros órgãos que não fazem parte do sistema genital feminino, apenas para mostrar a disposição anatômica das estruturas na região.

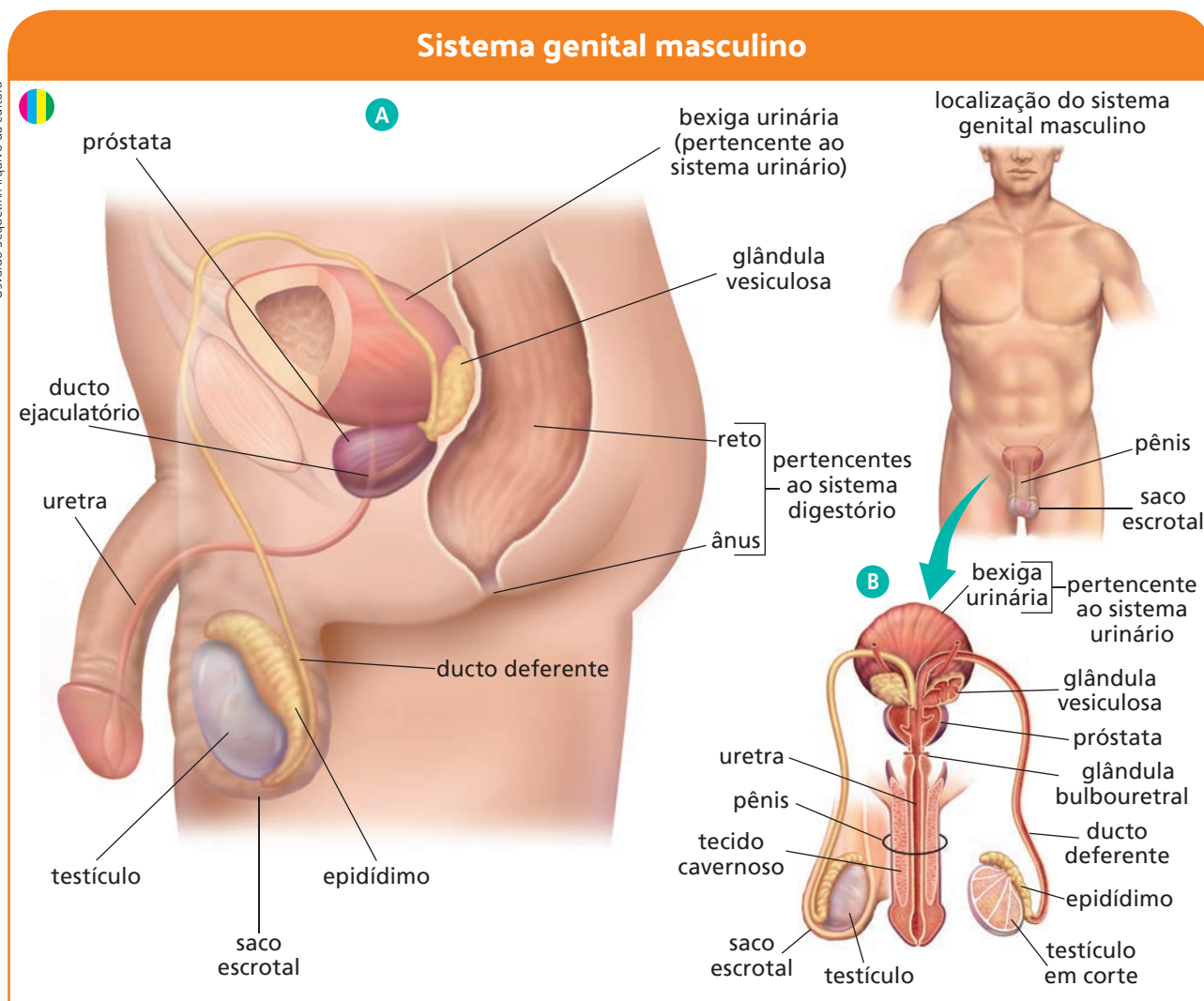
## 4.2 Sistema genital masculino

Na figura a seguir, está representado o **sistema genital masculino**. Ele é formado por um par de testículos localizados dentro da bolsa escrotal, epidídimos, ductos deferentes, ductos ejaculatórios, um par de glândulas vesiculosas (vesículas seminais), próstata, um par de glândulas bulbouretrais, pênis e uretra, além de outras glândulas menores não ilustradas aqui.

A produção dos gametas masculinos e do hormônio testosterona ocorre nos **testículos**, que se localizam dentro da bolsa escrotal. A espermatogênese tem início na puberdade, por volta dos 13 anos de idade, sob estímulo dos hormônios hipofisários FSH e LH, e seguem por toda a vida, em situações normais.

A presença do cromossomo sexual masculino (Y) relaciona-se com a síntese de testosterona durante a vida embrionária e fetal. Esse hormônio é responsável, no feto, pela diferenciação das estruturas do sistema reprodutor masculino durante a gestação. Nos últimos meses antes do nascimento, a testosterona estimula a descida dos testículos para a bolsa escrotal (escroto). No interior dessa bolsa, a temperatura é ligeiramente menor do que a temperatura corporal, fato importante para a sobrevivência dos espermatozoides, produzidos a partir da puberdade. Temperaturas mais elevadas poderiam matar os gametas masculinos e causar infertilidade.

✓ Esquemas ilustrando o **sistema genital masculino**: (A) vista lateral; (B) vista frontal. Alguns dos órgãos estão representados em corte. Nestes esquemas estão representados outros órgãos que não fazem parte do sistema genital masculino, apenas para mostrar a disposição anatômica das estruturas na região.



As figuras estão representadas em diferentes escalas.



Cada testículo é composto por centenas de túbulos seminíferos enovelados, e é neles que ocorre a formação dos espermatozoides. Depois de formados, os espermatozoides chegam ao epidídimo, onde podem ficar temporariamente armazenados. Se houver estímulo sexual, os espermatozoides são conduzidos ao ducto deferente.

O ducto deferente une-se ao ducto ejaculatório e nessa região as glândulas vesiculosas (vesículas seminais) lançam uma secreção sobre os espermatozoides, contendo muco e nutrientes. A próstata também elimina uma secreção, que é alcalina.

Em meio aquoso ligeiramente alcalino, os espermatozoides realizam locomoção mais eficiente. A vagina libera uma secreção de pH ácido, que impede a proliferação de micro-organismos, mas também prejudica a movimentação dos espermatozoides. A secreção alcalina da próstata pode neutralizar a secreção ácida vaginal e garantir a entrada de pelo menos uma parte dos espermatozoides no útero durante o ato sexual.

Os espermatozoides e as secreções das glândulas vesiculosas, da próstata e de outras glândulas menores formam o **sêmen**, que passa do ducto ejaculatório para a uretra na ejaculação. Nesse momento, a glândula bulbouretral, localizada internamente na base do pênis, libera uma secreção lubrificante que também fará parte do sêmen. A uretra participa também do sistema urinário, sendo o canal para a saída de urina a partir da bexiga urinária. Essa comunicação anatômica entre o sistema urinário e o genital não existe no organismo feminino.

### 4.3 Ato sexual

A **ejaculação** é o momento no qual o homem elimina seus espermatozoides, contidos no sêmen, como resultado de estímulo sexual. Para as mulheres, a ovulação não depende de estímulo sexual e sim das flutuações nas taxas dos hormônios que controlam o ciclo ovariano.

No interior do pênis existem os **corpos cavernosos** (tecido cavernoso), estruturas de aspecto esponjoso que, no momento da excitação sexual, ficam cheios de sangue e tornam-se enrijecidos, tornando o pênis ereto. Dessa forma, ele pode ser inserido na vagina. A uretra apresenta musculatura que se contrai durante a ejaculação, promovendo a eliminação do sêmen.

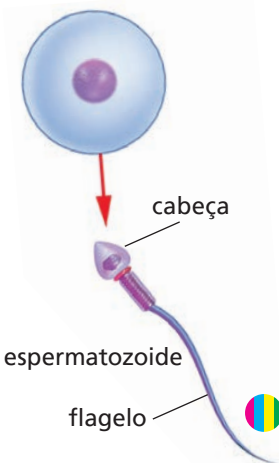
Em apenas uma ejaculação, podem ser eliminados cerca de 300 milhões de espermatozoides. Aproximadamente um terço desses espermatozoides pode morrer ao entrar em contato com a secreção ácida produzida pela vagina.

Se o ato sexual ocorrer durante o período fértil da mulher – próximo ao dia da ovulação –, fios de muco no endométrio e leves contrações uterinas podem “guiar” os espermatozoides até as tubas uterinas, e em uma delas pode estar o ovócito II liberado por um dos ovários. Geralmente, apenas algumas centenas de espermatozoides conseguem chegar ao ovócito II, sendo que apenas um deles irá fecundá-lo.

Os espermatozoides que não conseguem fecundar o gameta feminino degeneram dentro do sistema genital feminino. Isso também acontece no caso de o ato sexual não ocorrer durante o período fértil do ciclo menstrual.

### Espermio gênese

célula precursora (espermátide)



Esquema ilustrando a diferença entre a espermátide e o **espermatozoide** (não representados em escala). O flagelo realiza a locomoção. Na cabeça estão o núcleo e as enzimas capazes de romper o revestimento do ovócito II.



**Espermatozoide** do homem (65 µm de comprimento).

Science Photo Library/Latinstock



### CURIOSIDADE

A **maturação de um espermatozoide** dentro de um dos testículos leva cerca de um mês. Não ocorrendo ejaculação, os espermatozoides produzidos sofrem degeneração e os materiais resultantes são absorvidos pelo organismo. Se ocorrer a ejaculação, um espermatozoide pode ser mantido vivo em temperatura ambiente por cerca de 24 horas. Dentro do sistema genital feminino, sabe-se que um espermatozoide pode sobreviver por cerca de 72 horas. Quando congelado em temperaturas abaixo de -100 °C, os espermatozoides humanos podem ser armazenados por muitos anos.

## Óvulo ou ovócito II?

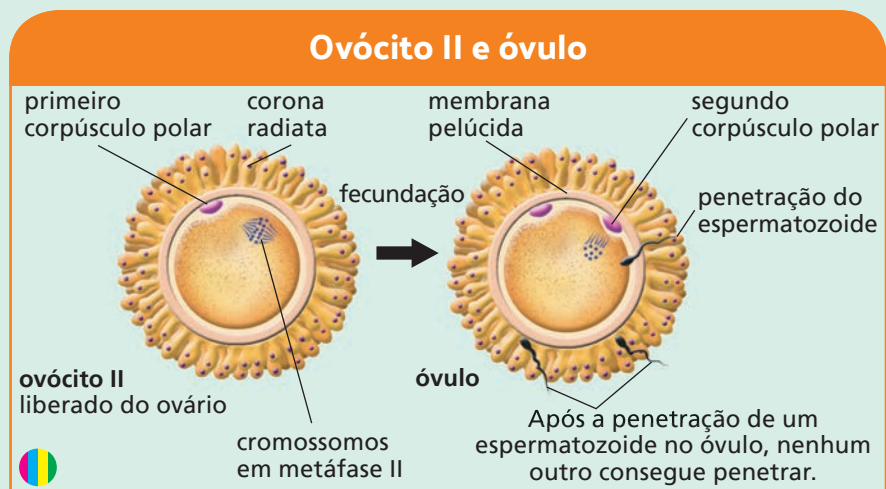
As variações hormonais na mulher determinam a liberação do ovócito II, que também é conhecido como "óvulo imaturo". O óvulo propriamente dito forma-se apenas após a penetração de um espermatozoide nas barreiras que protegem o gameta feminino.

Lembre-se de que antes do nascimento os ovários da menina apresentam, dentro dos folículos, todos os seus ovócitos I (ovócitos primários). Após o nascimento, em cada ciclo menstrual um ovócito I conclui o processo

de meiose I, originando um ovócito II e um corpúsculo polar. Ainda dentro do ovário, o ovócito II inicia a meiose II, até a fase metáfase II. É nessa etapa que o ovócito II é liberado do folículo ovariano, processo conhecido por ovulação. Esse ovócito II pode chegar à tuba uterina, onde completará a meiose II, caso ocorra a fecundação.

Nesse momento formam-se duas células haploides, agora com cromossomos simples: uma célula pequena (segundo corpúsculo polar), que degenera, e o óvulo propriamente dito. Em seguida, ocorre a união do núcleo do óvulo com o núcleo proveniente do espermatozoide, formando-se a célula-ovo ou zigoto – a célula diploide que dará origem ao embrião.

Os ovócitos II que não são fecundados após a ovulação, ou aqueles que não chegam a ser liberados dos folículos ovarianos, degeneram.



Luis Moura/Arquivo da editora

**MULTIMÍDIA**

**Dr. Jairo Bouer**

**<<http://doutorjairo.uol.com.br>>**

No site do médico Jairo Bouer há textos e vídeos cheios de informações relacionadas à saúde sexual. Com linguagem simples, ele aborda mitos e verdades a respeito do sexo, de DST e outros assuntos.

Acesso em: 06 fev. 2016.

Para informações aprofundadas a respeito de DST, sintomas, tratamentos e prevenção, sugerimos para consulta o site <<http://www.aids.gov.br/>>, do Ministério da Saúde (acesso em: 07 mar. 2016). Ali o termo DST foi substituído por IST: infecções sexualmente transmissíveis.

## 4.4 Doenças sexualmente transmissíveis

Existem micro-organismos causadores de doenças que são transmitidas pelo ato sexual, caracterizando as **doenças sexualmente transmissíveis (DST)**. Eles podem estar presentes no sêmen, na secreção vaginal e no sangue, dependendo do parasita.

Algumas DST podem apresentar também outras formas de transmissão. No caso da candidíase, causada pelo fungo do gênero *Candida*, alguns especialistas afirmam que a doença não é transmitida sexualmente, porém o agente causador se beneficia da alteração no pH vaginal normalmente observada após uma relação sexual, especialmente se houver ejaculação. A mulher com a infecção secreta um corrimento vaginal, muitas vezes acompanhado de irritação local; no homem, a infecção é passageira e assintomática. Muitos médicos têm, por isso, classificado a candidíase como uma doença relacionada ao sexo.

O uso de **camisinha** (tanto masculina quanto feminina) é o único método de prevenção de DST durante o ato sexual. A camisinha também impede que os espermatozoides cheguem ao útero, sendo um método anticoncepcional (analisaremos esse assunto mais adiante).

Existem tratamentos para as diversas DST, mas nem todas podem ser curadas, caso da aids, cujo tratamento permite que o organismo se mantenha saudável e não contraia as doenças oportunistas que podem levar à morte. O tratamento deve ser feito por toda a vida, com acompanhamento médico.

Em anos recentes, observou-se o aumento no número de casos de aids e outras DST no Brasil, como a sífilis e a hepatite C. A faixa etária mais afetada tem sido a de jovens. Usar camisinha e buscar informação são atitudes fundamentais para uma vida sexual saudável.

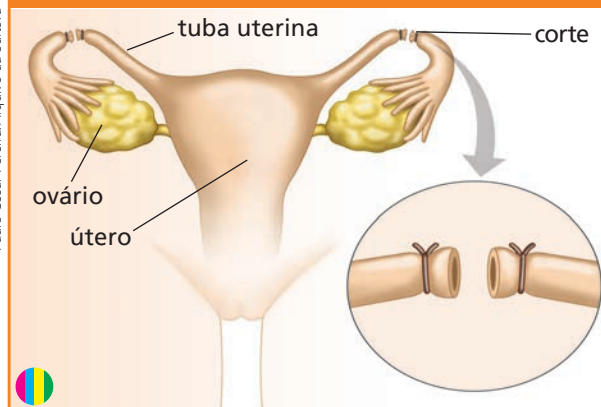
Acompanhe no quadro abaixo um breve resumo das DST mais comuns na população brasileira.



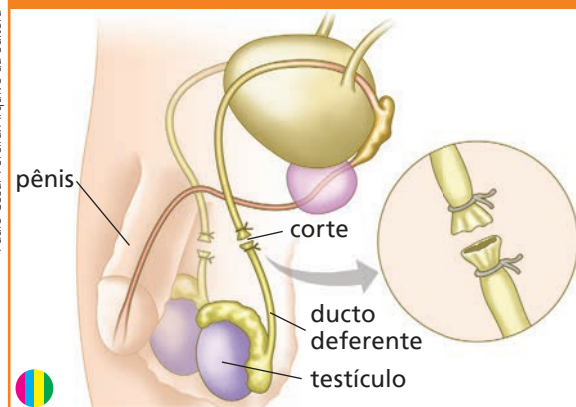
Doença	Agente causador	Principais sintomas	Tratamento (sempre sob orientação médica)
<b>Condiloma acuminado</b>	Papilomavírus humano (HPV)	Verrugas indolores nas regiões genital e anal. No homem, as verrugas no pênis são conhecidas como “cristas-de-galo”. Nas mulheres, a presença de alguns tipos de HPV pode estar associada ao desenvolvimento de câncer de colo de útero e, mais raramente, a outros tipos de câncer.	As verrugas podem ser eliminadas com medicamentos aplicados por um médico. Podem desaparecer naturalmente, mas existe a possibilidade de reaparecer depois. A partir de 2014, o Sistema Único de Saúde (SUS) disponibiliza uma vacina anti-HPV, para meninas entre 11 e 13 anos. Mulheres de outras idades também podem se vacinar, segundo orientação médica.
<b>Gonorreia</b>	Bactéria <i>Neisseria gonorrhoeae</i>	Ardor na uretra, seguido de secreção purulenta.	Antibióticos.
<b>Hepatite C</b>	Vírus da hepatite C (HCV)	Destruição das células do fígado. A forma principal de transmissão é pelo sangue contaminado, por meio de seringas ou transfusões. Não devemos compartilhar seringas ou outros materiais perfurantes ou cortantes (brincos, alicates etc.) e, quando necessário, recorrer a bancos de sangue confiáveis.	Há medicamentos recentemente desenvolvidos e disponíveis no Brasil com chances de até 90% de cura, desde que o tratamento seja seguido de modo correto e contínuo, sempre com acompanhamento médico. A pessoa também deve receber vacinas contra as hepatites A e B.
<b>Herpes genital</b>	Vírus <i>Herpes simplex</i> tipo II	Feridas nas regiões genital e anal, geralmente acompanhadas de coceiras, dor e dificuldade de urinar.	Medicamentos que aliviam os sintomas, controlando a reprodução dos vírus.
<b>Linfogranuloma venéreo</b>	Bactéria <i>Chlamydia trachomatis</i>	Formação de vesículas na genitália externa, que se desenvolvem formando pequenas úlceras.	Antibióticos.
<b>Sífilis</b>	Bactéria <i>Treponema pallidum</i>	Primeiro sintoma: ferida na genitália externa chamada cancro duro. Ele desaparece naturalmente, mas se a doença não for tratada surgem lesões mais graves e distúrbios em diversos órgãos do corpo, anos mais tarde. Pode ser transmitida de mãe para filho durante a gestação.	Antibióticos.
<b>Síndrome da imunodeficiência adquirida (aids)</b>	Vírus da imunodeficiência humana (HIV)	Baixa imunidade, levando ao aparecimento de doenças oportunistas, como tuberculose, mononucleose, pneumonia, entre outras. Pode ser transmitida por sangue contaminado ou da mãe para o feto, durante a gestação ou amamentação.	Coquetel de medicamentos tem se mostrado eficaz no controle da imunidade. É realizado o tratamento das infecções oportunistas.
<b>Tricomoníase</b>	Protozoário <i>Trichomonas vaginalis</i>	Corrimento vaginal característico e ardência na mulher; no homem, corrimento pela uretra.	Medicamentos que destroem o agente causador.

No volume 2 desta coleção, são aprofundadas as informações sobre as DST mencionadas acima.



**Laqueadura tubária**

- Esquema ilustrando o resultado da **laqueadura tubária**. Nesse procedimento cirúrgico, as tubas uterinas são seccionadas ou amarradas, de forma a impedir o encontro do ovócito II com os espermatozoides. Não há alterações no ciclo menstrual decorrentes do procedimento.

**Deferentectomia ou vasectomia**

- Esquema ilustrando o resultado da **deferentectomia**, que interrompe cirurgicamente os ductos deferentes, impedindo que os espermatozoides sejam conduzidos até a uretra. O procedimento não altera a produção de espermatozoides e testosterona pelos testículos, nem a capacidade de ereção do pênis. A ejaculação também ocorre normalmente, porém o sêmen não conterá espermatozoides.

- Cartela de **pílulas anticoncepcionais**.

**4.5 Métodos anticoncepcionais**

A **concepção** é a prevenção da gravidez. Ter filhos exige responsabilidade e o ideal é que seja feito o planejamento familiar. Os métodos anticoncepcionais auxiliam a mulher ou um casal a evitar a gravidez em momentos indesejados. Alguns métodos são reversíveis e outros são irreversíveis, isto é, interrompem de maneira definitiva a capacidade reprodutora do indivíduo.

São métodos irreversíveis a **laqueadura** (ligadura) **tubária** e a **deferentectomia** (vasectomia). Observe as figuras ao lado.

Apesar de serem considerados métodos irreversíveis, existem procedimentos cirúrgicos para a reversão da laqueadura tubária e da deferentectomia, sendo este último caso o que tem apresentado maior índice de resultados positivos. No entanto, há casos em que a reversão não é feita com sucesso.

A seguir, veremos algumas informações sobre os métodos anticoncepcionais reversíveis mais eficazes. É importante frisar que nenhum desses métodos é totalmente infalível, apesar de as taxas de eficiência serem elevadas se aplicados corretamente. A decisão sobre qual método adotar deve ser feita com orientação médica.

- **Pílulas anticoncepcionais** – apresentam em sua formulação hormônios sintéticos análogos ao estrógeno e progesterona. Ao tomar as pílulas corretamente, a concentração desses hormônios no sangue torna-se alta, o que inibe a secreção de FSH e LH pela adenoipófise. Assim, sem as variações hormonais típicas do ciclo menstrual, não há desenvolvimento do folículo ovariano e ovulação. Atualmente, existem também hormônios injetáveis, anéis gelatinosos introduzidos na vagina que liberam os hormônios de forma gradual ao longo do mês e implantes colocados sob a pele, com efeito de longa duração. Os métodos anticoncepcionais hormonais são os mais eficazes entre os métodos reversíveis, porém devem ser adotados apenas com acompanhamento médico por existirem efeitos colaterais.

**PENSE E RESPONDA**

Como se chama o mecanismo que explica a inibição da secreção de FSH e LH pela adenoipófise pela administração da pílula anticoncepcional? Explique em seu caderno.

**Feedback negativo.** A pílula contém hormônios similares ao estrógeno e à progesterona, o que inibe a secreção de FSH e LH.

► **Dispositivo intrauterino (DIU)** – pequeno instrumento feito de plástico ou metal, colocado dentro do útero, em procedimento realizado apenas por médico. Sua eficiência é alta. O DIU torna o útero um ambiente hostil para a implantação do embrião no endométrio, caso tenha ocorrido fecundação. Existem dispositivos intrauterinos que também atuam impedindo a ovulação, pela liberação gradual de hormônios sintéticos no organismo. Há, ainda, alguns que têm efeito espermicida, ou seja, causam a morte dos espermatozoides.



Divulgação

► **Diafragma** – constitui uma barreira à passagem de espermatozoides para dentro do útero, pois é colocado na vagina, junto ao colo do útero, antes da relação sexual. Feito de látex ou silicone, com um aro elástico na borda, o diafragma tem sua eficiência aumentada quando aplicado com uma geleia espermicida, que contém substâncias que bloqueiam a atividade dos espermatozoides. Os espermicidas também são encontrados na forma de comprimidos ou espumas, mas não são muito eficazes quando utilizados como único procedimento anticoncepcional.

^ DIU.

► **Camisinha ou preservativo** – o preservativo masculino reveste o pênis, impedindo que o sêmen, que contém os espermatozoides, seja ejaculado na vagina. Apresenta eficiência quando colocado corretamente, com o pênis já ereto e com uma pequena folga na extremidade, que não pode estar preenchida com ar para que não estoure. O preservativo feminino se parece com um pequeno saco que deve ser introduzido na vagina. Assim, não há contato entre a pele do pênis e o epitélio da vagina. As camisinhas, além de impedirem o contato dos espermatozoides com o interior da vagina, são métodos importantes para a prevenção de doenças sexualmente transmissíveis, o que amplia a recomendação de seu uso. O uso da camisinha é, portanto, recomendado sempre. A camisinha geralmente não é indicada como o único método anticoncepcional, pois podem ocorrer perfurações ou deslocamento durante o ato sexual, principalmente se não for colocada corretamente; ela deve ser utilizada com outro método anticoncepcional, sob orientação médica.

^ Aplicação de **creme espermicida em um diafragma**, o que torna seu uso mais eficiente.

v Camisinha masculina.

&lt; Camisinha feminina.



**PENSE E RESPONDA**

Por que se deve usar camisinha nas relações sexuais, mesmo que outro método contraceptivo seja adotado?

A camisinha é o único método contraceptivo que também protege contra DST.

Dois métodos anticoncepcionais reversíveis de baixa eficiência são a tabelinha e o coito interrompido.

Pela tabelinha, a mulher deve calcular quando deverá ocorrer seu período fértil. No entanto, mesmo em mulheres que apresentam ciclos menstruais regulares, a data da ovulação pode não ser aquela prevista pela tabelinha, pois a ovulação sofre influência de fatores emocionais, entre outros. A tabelinha é, portanto, um método com alto índice de falhas.

No coito interrompido, o pênis é retirado da vagina antes da ejaculação. Mesmo que o homem consiga fazer essa interrupção, existe o risco de gravidez, pois antes da ejaculação pequenas quantidades de líquido seminal são liberadas pelo pênis, e podem conter espermatozoides.

## A pílula do dia seguinte

As chamadas “pílulas do dia seguinte” constituem métodos de contracepção de emergência. Elas podem ser compostas de estrógeno e progesterona ou unicamente de progesterona, em altas concentrações, e devem ser tomadas em curtos intervalos de tempo (dose única ou 12 horas entre cada pílula). Elas evitam a gravidez indesejada, principalmente por sua ação no útero, impedindo a implantação de um possível embrião no endométrio. Elas só devem ser ingeridas de acordo com prescrição médica e no máximo até três dias após relação sexual desprotegida.

Convém ressaltar que este é um método de emergência, que não deve ser utilizado regularmente e sem orientação médica. Em mulheres jovens, especialmente com ciclo menstrual irregular, a ingestão de pílulas do dia seguinte pode causar alterações na menstruação, entre outros problemas de saúde. Além disso, a pílula do dia seguinte não protege contra as doenças sexualmente transmissíveis.

## Alerta: fumo e pílula anticoncepcional não combinam

O cigarro causa prejuízos à saúde de qualquer pessoa. No caso das mulheres que fumam ou convivem com a fumaça do cigarro, os índices de câncer de mama ou de órgãos do sistema genital é muito maior do que em mulheres não fumantes. Situação ainda mais arriscada é a de mulheres fumantes que utilizam pílulas anticoncepcionais orais. São dez vezes maiores os riscos de infarto do miocárdio, problemas pulmonares e circulatórios nessas mulheres, mesmo nas jovens. Se o hábito de fumar for abandonado, após um ano esses riscos estarão reduzidos à metade.

Divulgação



Campanha promovida pelo Instituto Nacional do Câncer José de Alencar Gomes da Silva incentivando as mulheres a **não fumar**.

Fumar durante a gravidez também pode trazer complicações, como abortos espontâneos, sangramentos e o nascimento de bebês prematuros, com baixo peso. O monóxido de carbono (CO) e a nicotina, presentes no cigarro, difundem-se pela placenta e causam efeitos no feto, tornando parte de suas hemácias indisponíveis para o transporte de gás oxigênio e acelerando os seus batimentos cardíacos. Grávidas que não fumam, mas convivem com fumantes, correm o mesmo risco. A nicotina também pode passar da mãe para o bebê pela amamentação.

Para saber mais:

Ministério da Saúde. Instituto Nacional de Câncer. *Falando sobre tabagismo*. 3. ed. Rio de Janeiro. 1998.

Site do Inca: <<http://www.inca.gov.br/tabagismo>>. Acesso em: 16 fev. 2016.





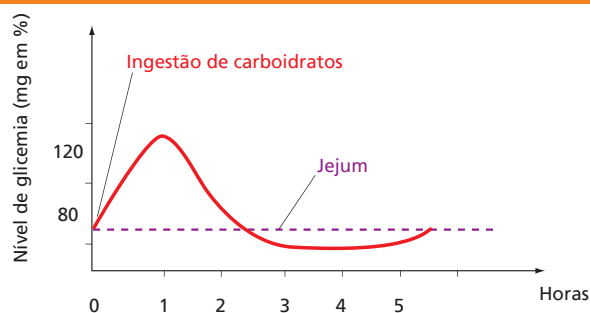
A forma mais usual de se referir ao diabetes, adotada em documentos do Ministério da Saúde, é como masculino. No entanto, a forma "a diabete" também está correta.

## Diabetes

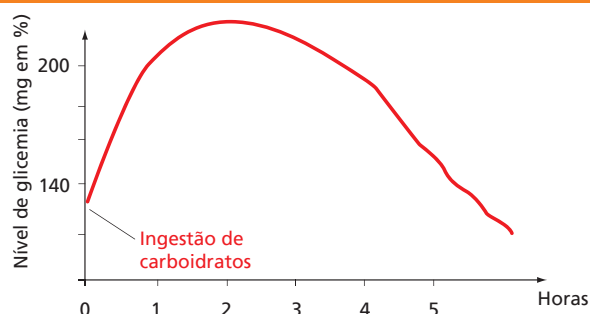
Existem quatro tipos de diabetes: insípido, gestacional, mellitus tipo I e mellitus tipo II. O diabetes insípido é causado pela deficiência do hormônio antidiurético (ADH). O diabetes gestacional é comum em mulheres durante a gestação, sendo uma condição que geralmente se normaliza após o parto.

O diabetes mellitus relaciona-se ao hormônio insulina. Compare os gráficos a seguir. O gráfico A representa o que ocorre com o nível de glicose no sangue logo após uma refeição rica em carboidratos, em um indivíduo não diabético. O gráfico B mostra como fica a taxa de glicose no sangue em uma pessoa com diabetes, após uma refeição com carboidratos.

**A. Curva de tolerância à glicose em pessoa não diabética**



**B. Curva de tolerância à glicose em pessoa diabética**



Fonte: Guyton; Hall. *Tratado de fisiologia médica*. 9. ed. RJ: Guanabara Koogan, 1996. p. 850.

Você pode perceber pela comparação dos gráficos que o diabetes mellitus caracteriza-se pela glicemia muito elevada, mesmo depois de várias horas após a refeição (o termo *mellitus* vem de mel, doce, uma referência ao excesso de açúcar no sangue e na urina).

A deficiência na produção de insulina causa o **diabetes mellitus tipo I**, também chamado de diabetes juvenil por geralmente manifestar-se na infância e juventude, embora nem sempre seja assim. O excesso de glicose do sangue é liberado pela urina, cuja produção se torna mais intensa. A palavra *diabetes* tem a mesma origem que a palavra *diurético* e está relacionada com a produção excessiva de urina.

O tratamento é feito com a administração de insulina. Sem tratamento, diversos órgãos podem ser gravemente afetados; a consequência mais grave é o coma diabético.

O **diabetes mellitus tipo II** decorre de um problema nos órgãos-alvo da insulina, que perdem a capacidade de responder à presença do hormônio. Assim, a glicemia fica aumentada, como no diabetes tipo I. Mas, como a causa é diferente, o tratamento pode não ser feito com administração de insulina.

Nos dois tipos de diabetes mellitus, a hereditariedade está envolvida no desenvolvimento da doença. No entanto, o estilo de vida pode predispor uma pessoa a desenvolver o diabetes tipo II, com índices cada vez mais alarmantes entre crianças e jovens, no Brasil e em outros países. O tabagismo, o consumo de álcool, a alimentação inadequada e o sedentarismo são fatores que contribuem para a doença.

Muitas pessoas com diabetes tipo II apresentam sobrepeso ou obesidade, com acúmulo de gordura na região abdominal. As células de gordura dessa região liberam grandes quantidades de ácidos graxos, que vão diretamente para o fígado. Com os ácidos graxos, esse órgão produz triglicérides que, em nível elevado no sangue, rompem a regulação da glicemia e desencadeiam o aumento na liberação de insulina. A situação culmina com a perda de sensibilidade dos receptores das células à insulina, além de aumentar o risco de doenças cardiovasculares pela formação de placas de gordura nos vasos sanguíneos.

A alimentação equilibrada e a prática regular de exercícios é fundamental para prevenir e combater o diabetes tipo II. Quando a doença é diagnosticada, é fundamental o acompanhamento de um médico endocrinologista.



## 1 Alerta: o perigo das “bombas”

Na linguagem popular, “bombas” correspondem a substâncias que promovem aumento da massa muscular e da resistência física. A maioria das “bombas” é composta por hormônios ou substâncias análogas.

Como vimos ao longo deste capítulo, o equilíbrio na secreção dos hormônios é muito delicado. Pequenas variações na concentração de um hormônio no organismo podem causar efeitos indesejados e levar a graves problemas de saúde. Vejamos alguns exemplos de “bombas”.

Os **anabolizantes esteroides** são produtos sintéticos similares ao hormônio testosterona. Foram inicialmente desenvolvidos para o tratamento de pessoas com grande perda de massa muscular decorrente de alguma doença; logo passaram a ser usados por atletas que queriam aumentar sua força, como os levantadores de peso. Essas substâncias são proibidas pelas comissões esportivas, e atletas que apresentam vestígios de anabolizantes no sangue ou na urina são banidos de competições, após o exame **antidoping**.

O **hormônio do crescimento (GH)** também tem sido usado inadequadamente por pessoas que desejam aumento da massa muscular, pois promove certo crescimento de músculos na idade adulta. No entanto, como vimos, altas taxas de GH na vida adulta podem gerar acromegalia.

A **eritropoietina** é um hormônio que estimula a produção de hemácias pela medula óssea vermelha. É produzida principalmente pelos rins e, em menor intensidade, pelo fígado. O consumo de eritropoietina por atletas tem como finalidade aumentar o número de hemácias no sangue e, consequentemente, aumentar sua capacidade de captar gás oxigênio, podendo realizar esforços aeróbios mais facilmente. A substância é proibida pelas comissões esportivas.

Qualquer forma de **doping** é considerada uma maneira de trapacear na competição, pois o atleta não estará atuando com suas reais condições físicas. Para aqueles que não são atletas, o consumo de hormônios também pode acarretar graves problemas de saúde; seu uso, portanto, somente é recomendável sob orientação médica.

### DEPOIS DA LEITURA...

- a. Você tem informações sobre algum caso de **doping** em competições recentes (nacionais ou internacionais)? Relate aos seus colegas. a) Resposta pessoal.
- b. Você e seus colegas podem organizar um debate, sob orientação do professor, a respeito do uso inadequado de hormônios. Vocês podem abordar questões como: qual é a sua opinião a respeito da prática de **doping**? O que leva tantos jovens a utilizarem anabolizantes esteroides, arriscando sua saúde? Como resultado do debate, vocês podem elaborar uma campanha na escola, incentivando a adoção de hábitos que promovam o crescimento saudável. Peçam orientação também do professor de Educação Física.

b) Respostas pessoais. Veja comentários no Manual.

## 2 O que é saúde sexual?

Antes de falar em saúde sexual, é preciso compreender que a sexualidade faz parte da vida de todo ser humano e não se restringe à reprodução. A sexualidade abrange os laços afetivos entre as pessoas e inclui aspectos biológicos, psíquicos, sociais, culturais e históricos. A livre expressão da sexualidade faz parte dos direitos humanos e, a partir da década de 1990, esse entendimento resultou na revisão dos conceitos de saúde reprodutiva e saúde sexual nos documentos da Organização das Nações Unidas (ONU).

A saúde sexual é o bem-estar relacionado à expressão da sexualidade, que pode ou não incluir a atividade sexual. Ela inclui, por exemplo, a possibilidade de a pessoa viver de acordo com a sua identidade de gênero, sem sofrer discriminação. Gênero é um conceito que abarca papéis, crenças, atitudes e relações entre mulheres e homens, não sendo determinado por cromossomos ou pela anatomia do corpo, mas pelo contexto cultural, político e socioeconômico. Assim, o gênero se refere ao que é ser homem ou ser mulher em uma sociedade e em

um momento histórico. Na maioria das sociedades, as relações de gênero são desiguais.

Muitas conquistas já foram feitas para assegurar o direito ao respeito e à dignidade para pessoas de todas as orientações sexuais e identidades de gênero. Nesse contexto, fazem parte dos direitos humanos os direitos reprodutivos e os sexuais, dos quais destacamos alguns:

#### Direitos reprodutivos

- poder decidir, de forma livre e responsável, se há o desejo ou não de ter filhos, e em que momento da vida;
- acesso a informações, meios, métodos e técnicas para ter ou não ter filhos;
- poder exercer a sexualidade e a reprodução livre de discriminação, imposição e violência.

#### Direitos sexuais

- viver plenamente a sexualidade sem medo, vergonha, culpa e falsas crenças;
- direito ao sexo seguro para prevenção da gravidez e de doenças sexualmente transmissíveis (DST), bem como a serviços de saúde com qualidade, sigilo e sem discriminação.

Você já ouviu falar nos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM)? Em 2000, houve uma conferência da ONU em que 189 países, entre eles o Brasil, assinaram a Declaração do Milênio, que estabelece um conjunto de oito ODM, para promover o desenvolvimento sustentável (veja quadro ao lado).

Dos 8 ODM, três têm relação direta com a saúde sexual e a reprodutiva: promoção da igual-

dade entre os sexos e autonomia das mulheres; melhoria da saúde materna; combate ao HIV/aids e outras doenças. A erradicação da pobreza e o acesso à educação também têm reflexos indiretos nesse âmbito.

Declarações como os ODM são importantes, pois orientam as políticas públicas de saúde nos países signatários. Isso constitui um grande avanço na proteção e no cuidado de pessoas que têm seus direitos humanos violados em função da sexualidade.

#### Objetivos do Milênio



Divulgação

Fontes:

MINISTÉRIO DA SAÚDE. *Cadernos de Atenção Básica* n. 26. Saúde sexual e saúde reprodutiva. 1. ed. Brasília, 2013. Disponível em: <[http://bvsmis.saude.gov.br/bvs/publicacoes/saude\\_sexual\\_saude\\_reprodutiva.pdf](http://bvsmis.saude.gov.br/bvs/publicacoes/saude_sexual_saude_reprodutiva.pdf)>.

PORTAL BRASIL. Disponível em: <<http://www.odmbrasil.gov.br/os-objetivos-de-desenvolvimento-do-milenio>>.

Acessos em: 07 fev. 2016.

### DEPOIS DA LEITURA...

Vivemos em uma época em que estudos sociais e científicos, além dos movimentos sociais, garantiram que os direitos sexuais e reprodutivos estivessem presentes nas leis. Em nosso país, foram feitos muitos avanços, no sentido de punir ações discriminatórias, a violência contra a mulher e contra pessoas com orientação sexual não heterossexual. As leis, no entanto, ainda não são cumpridas em todos os âmbitos e situações.

Converse com seus colegas a respeito desse tema: o que é necessário para que os direitos sexuais e reprodutivos se traduzam em atitudes no dia a dia das pessoas? Busquem reportagens e depoimentos de pessoas de sua cidade, selecionando exemplos positivos nesse sentido. Depois do debate, elaborem uma lista de objetivos para que essas atitudes estejam presentes em sua escola, divulgando-a na comunidade.

Veja subsídios no Manual.



1. Adenoipófise: produz hormônios trópicos, que atuam sobre outras glândulas. Neuroipófise: libera hormônios secretados pelo hipotálamo, com ação direta sobre o organismo.

## Revedo e aplicando conceitos

1. O hipotálamo exerce importante função no controle das secreções endócrinas do nosso organismo, através da glândula hipófise. No entanto, a influência do hipotálamo no sistema endócrino é diferente quando ocorre pela adenoipófise e quando ocorre pela neuroipófise. Explique essa diferença.

2. Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), o consumo de sal por adultos deve ser de no máximo 5 gramas por dia, o que equivale a uma colher rasa, das de chá. É importante considerar que o sal já está presente em diversos alimentos, devendo-se reduzir a sua adição no prato, no momento da refeição.



BURGER/PHANIE/Glowimages

2. b) O excesso de sal na circulação sanguínea leva a problemas cardiovasculares, como a hipertensão arterial.

a. Por que o consumo de sal iodado ajuda a prevenir a formação de bócio?

2. a) A deficiência em iodo pode desencadear o bócio.

b. Por que o consumo excessivo de sal faz mal à saúde?

c. Cite dois alimentos que são fontes naturais de iodo. Se necessário, pesquise em livros ou sites.

2. c) Peixes, algas marinhas, frutos do mar, leite, ovos.

3. A respeito do diabetes, explique:

a. Qual é a diferença entre diabetes insípido, diabetes mellitus tipo I e a tipo II? 3. a) Consulte o Manual.

b. Explique como funciona o controle da glicemia no organismo por meio da retroalimentação negativa.

3. b) Consulte o Manual.

c. Segundo dados de 2014, o Brasil possui cerca de 10 milhões de pessoas com diabetes. Entre os casos diagnosticados, o diabetes tipo II é o mais comum, responsável por cerca de 90% dos casos. No entanto, estima-se que cerca de 50% da população brasileira não sabe que tem a doença e 20% das pessoas diabéticas não realizam as medidas de controle (fonte: PORTAL BRASIL. Diabetes. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/saude/2012/04/diabetes>>. Acesso em: 07 fev. 2016). Quais são os riscos das situações descritas e como elas podem ser modificadas? 3. c) Consulte o Manual.

4. Um estudante escreveu em seu caderno que os androgênios (como a testosterona) são hormônios ausentes nas mulheres, sendo sintetizados apenas pelos homens, nos testículos. Você concorda com essa anotação? Justifique.

4. Não. Assim como os homens, as mulheres também produzem androgênios no córtex das adrenais. Nos homens, a testosterona é produzida também nos testículos.

6. No homem, a uretra é um canal com cerca de 20 cm de comprimento, que participa dos sistemas urinário e genital. Na mulher, a uretra é um canal curto, com cerca de 4 cm de comprimento, que participa apenas do sistema urinário.

5. Observe a tabela e responda:

Método anticoncepcional	Índice de eficácia
Tabelinha	20%
Preservativo (camisinha)	97%
Diafragma com espermicida	94%
Pílula anticoncepcional feminina (uso correto)	99,9%
Vasectomia ou ligadura tubária	99,9%

Adaptado de: <<http://www.anticoncepcao.org.br/html/manual/corpo/taxafalha.html>>. Acesso em: 10 maio 2016.

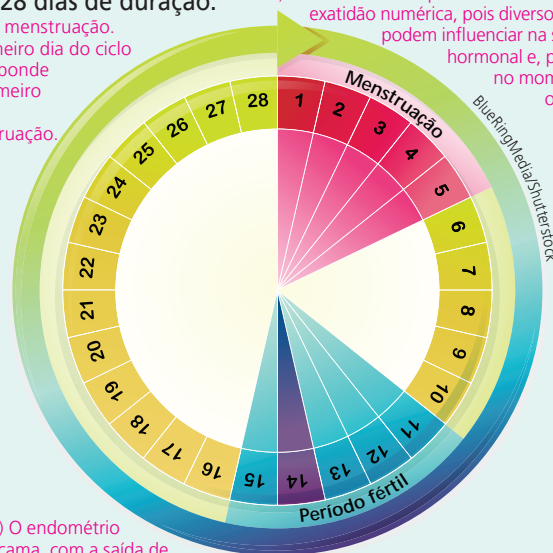
Pelas informações da tabela, qual dos métodos, ou combinação de métodos, você aconselharia a um jovem casal que deseja prevenir a gravidez e a transmissão de doenças sexualmente transmissíveis? Justifique sua resposta.

6. Diferencie as características da uretra no corpo da mulher e no do homem.

7. A imagem a seguir representa o ciclo menstrual com 28 dias de duração.

7. a) A menstruação. O primeiro dia do ciclo corresponde ao primeiro dia da menstruação.

7. f) O ciclo menstrual pode não funcionar com exatidão numérica, pois diversos fatores podem influenciar na secreção hormonal e, portanto, no momento da ovulação.



7. b) O endométrio descama, com a saída de sangue e muco pela vagina. Enquanto isso, nos ovários, alguns folículos ovarianos começam a crescer, caracterizando a fase folicular do ciclo ovariano.

a. O que determina o início do ciclo menstrual?

b. O que acontece no sistema genital feminino durante o período da menstruação?

7. c) A ovulação.

c. Qual acontecimento caracteriza o "período fértil"?

7. d) Consulte o Manual.

d. Quais hormônios hipofisários estão envolvidos no ciclo menstrual? Explique como eles atuam.

7. e) O estrógeno e a progesterona. O estrógeno estimula a ovulação. ▼

e. Quais hormônios ovarianos estão envolvidos no ciclo menstrual? Explique como eles atuam.

► A progesterona estimula o crescimento do endométrio.

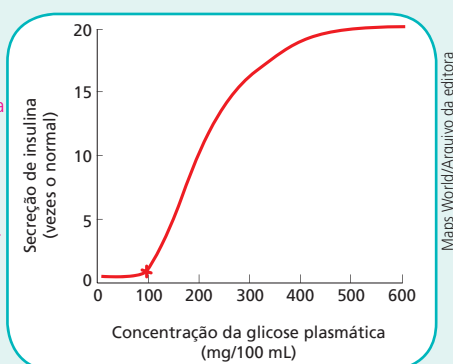
f. Por que o cálculo do período fértil ("tabelinha") não é um método eficiente para se prevenir a gravidez?

5. O uso de pílula anticoncepcional e preservativo é recomendado, pois essa combinação previne DST e evita a gravidez em caso de rompimento ou mau uso do preservativo.

## Trabalhando com gráficos

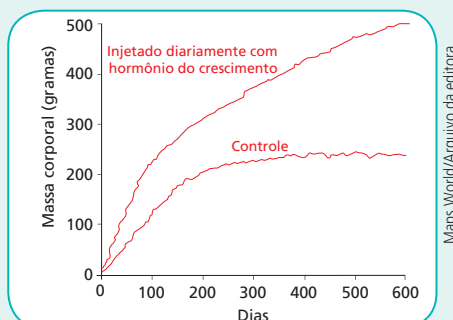
8. a) A secreção de insulina aumenta à medida que aumenta a quantidade de glicose no sangue, mas apenas até determinado limite.  
 8. O gráfico a seguir mostra o resultado de uma situação experimental: o que ocorre com a secreção de insulina pelo pâncreas quando a concentração de glicose no sangue aumenta.

8. d) Com aumento da glicemia, há redução da secreção de glucagon; com queda da glicemia, há aumento da secreção de glucagon.



Fonte: Guyton; Hall. *Tratado de fisiologia médica*. 9. ed. RJ: Guanabara Koogan, 1996. p. 850.

- a. Descreva o resultado descrito pela curva do gráfico.  
 b. Qual é a influência do nível de glicose no sangue na secreção de insulina?  
 8. b) Estimulo de secreção de insulina, até certo limite.  
 c. Em um indivíduo com diabetes mellitus tipo I, qual seria o resultado esperado para este experimento?  
 8. c) A secreção de insulina não aumentaria.  
 d. Se esse gráfico mostrasse a relação entre os níveis de glicose no sangue e a secreção de glucagon, qual seria o resultado esperado? Justifique sua resposta.  
 9. O gráfico abaixo apresenta duas curvas obtidas como resultado de um experimento com dois ratos recém-nascidos, em que um deles recebeu injeções diárias de hormônio do crescimento e o outro não. Analise o gráfico e em seguida responda às questões.



Fonte: Guyton; Hall. *Tratado de fisiologia médica*. 9. ed. RJ: Guanabara Koogan, 1996. p. 850.

- a. Qual é a glândula que secreta o hormônio do crescimento (GH)? 9. a) Adenoipófise.  
 b. Explique o resultado do experimento, comparando o crescimento em massa corporal dos dois ratos.  
 9. b) Com injeções de GH, o rato teve maior aumento de massa corporal, pois esse hormônio estimula o crescimento do corpo.

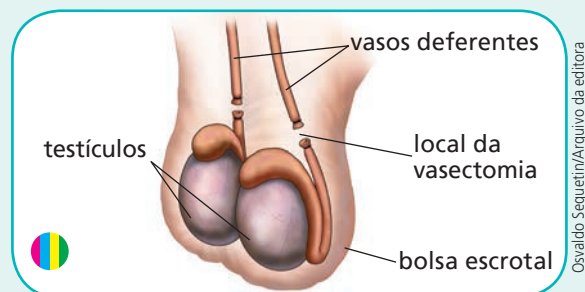
9. c) Rato normal: cessou crescimento por volta dos 200 dias; rato com GH: continuou crescendo.

- c. No rato com crescimento normal, o que acontece com a taxa de crescimento ao longo do tempo? Compare esta situação com a observada no rato que recebeu o tratamento com GH.  
 d. Sabe-se que o GH pode ser utilizado, sob orientação médica, em casos de crianças com nanismo. O que pode acontecer se o hormônio GH for administrado a uma criança de crescimento normal?  
 9. d) Pode ocorrer o gigantismo.

## Questões do Enem e de vestibulares

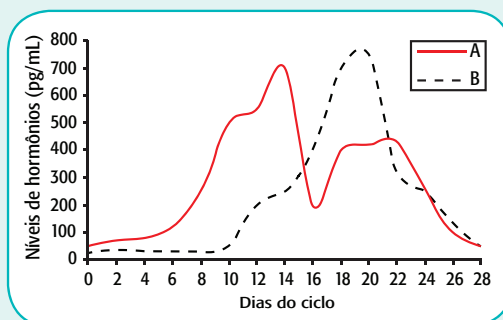
10. A deferentectomia não altera os testículos e, portanto, não se altera a secreção de testosterona, que é feita diretamente na circulação sanguínea.

10. (UFRJ) A figura abaixo mostra como é feita a vasectomia, um procedimento cirúrgico simples que envolve a interrupção dos vasos deferentes. Essa interrupção impede que os espermatozoides produzidos nos testículos atinjam a uretra, tornando os homens inférteis. A vasectomia não inibe o ato sexual. Para que um homem se mantenha sexualmente ativo, é preciso que haja produção e secreção do hormônio testosterona. A testosterona, que também é produzida nos testículos, é responsável pela indução do desejo sexual (libido) e é também necessária para que ocorra a ereção do pênis.



Por que a vasectomia não bloqueia os efeitos da testosterona, uma vez que esse hormônio também é produzido nos testículos?

11. (Unicamp-SP) O gráfico abaixo mostra a variação na concentração de dois hormônios ovarianos, durante o ciclo menstrual em mulheres, que ocorre aproximadamente a cada 28 dias.



11. a) Curva **A**: estrôgeno; curva **B**: progesterona. Se houver implantação do zigoto, o nível destes hormônios deve manter-se elevado.

**a.** Identifique os hormônios correspondentes às curvas **A** e **B** e explique o que acontece com os níveis desses hormônios se ocorrer fecundação e implantação do ovo no endométrio.

**b.** Qual é a função do endométrio? E da musculatura lisa do miométrio?

11. b) O endométrio permite a fixação do embrião no útero. A musculatura não estriada (lisa), ao se contrair, elimina o material menstrual e permite o parto.

12. (Enem-2012)



DAVIS. J. Garfield está de dieta. Porto Alegre: L&PM, 2006.

A condição física apresentada pelo personagem da tirinha é um fator de risco que pode desencadear doenças como

- a.** anemia.
- b.** beribéri.
- c.** diabetes.
- d.** escorbuto.
- e.** fenilcetonúria.

12. c

13. (Fuvest-SP) O seguinte texto foi extraído do folheto "Você tem diabetes? Como identificar", distribuído pela empresa Novo Nordisk:

*"A glicemia (açúcar no sangue) apresenta variações durante o dia, aumentando logo após a ingestão de alimentos e diminuindo depois de um tempo sem comer. A elevação constante da glicose no sangue pode ser sinal de diabetes".*

13. a) A secreção de insulina é regulada pelo nível de glicose no sangue: a hipoglicemia inibe sua secreção, enquanto a hiperglicemia estimula a liberação do hormônio.

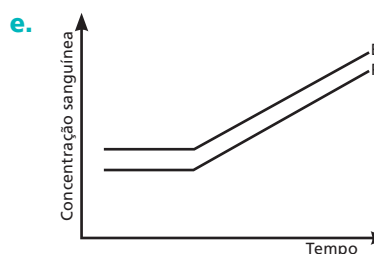
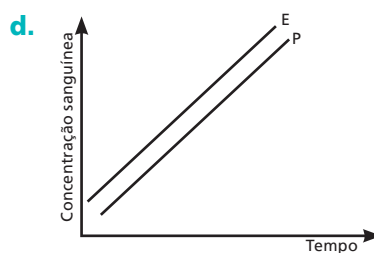
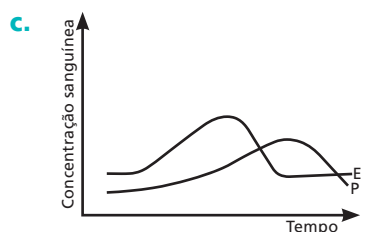
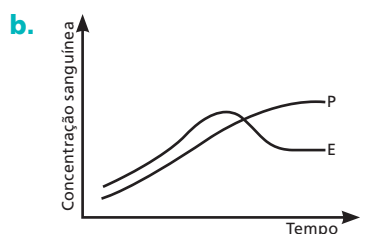
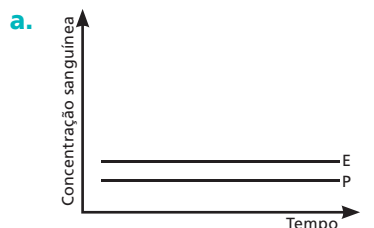
**a.** Por que nos não diabéticos a glicemia aumenta após as refeições e diminui entre as refeições?

► a hiperglicemia estimula a liberação do hormônio.

**b.** Explique por que uma pessoa com diabetes melito apresenta glicemia elevada constante.

14. (Enem-2013) Apílula anticoncepcional é um dos métodos contraceptivos de maior segurança, sendo constituída basicamente de dois hormônios sintéticos semelhantes aos hormônios produzidos pelo organismo

feminino, o estrogênio (E) e a progesterona (P). Em um experimento médico, foi analisado o sangue de uma mulher que ingeriu ininterruptamente um comprimido desse medicamento por dia durante seis meses. Qual gráfico representa a concentração sanguínea desses hormônios durante o período do experimento?





# Genética

UNIDADE

2

DIVULGAÇÃO PNLD



**Questões intrigantes relacionadas aos mecanismos da hereditariedade serão abordadas nesta unidade:**

- ⟨⟩ Por que os filhos possuem características semelhantes às dos pais?
- ⟨⟩ Como é possível uma planta de ervilha dar origem a sementes verdes ou amarelas?
- ⟨⟩ Como o DNA comanda as atividades de uma célula?
- ⟨⟩ Qual é a relação entre cromossomos, genes e DNA?
- ⟨⟩ O que são organismos geneticamente modificados, ou transgênicos?

! OBJETIVOS  
GERAIS DA  
UNIDADE

! ABERTURA  
DA UNIDADE

Getty Images



As cores e os padrões da pelagem dos coelhos são determinados por herança genética.



^ O monge **Gregor Mendel** (1822-1884), considerado o pai da Genética.



^ **Planta de ervilha** com flores e frutos (vagens).

## 1 Início da Genética

A **Genética** é a área da Biologia que estuda os genes, os mecanismos de transmissão das **características hereditárias** de pais para filhos ao longo das gerações e inclui a área de manipulação dos genes, conhecida por engenharia genética.

Essa ciência teve início com os trabalhos de Gregor Mendel, um monge austríaco que viveu entre 1822 e 1884.

A partir de 1860, Mendel realizou uma série de cruzamentos entre plantas de ervilhas e analisou cuidadosamente os resultados obtidos. Esses experimentos permitiram a elaboração de leis sobre a transmissão dos caracteres hereditários, leis essas que servem de base aos estudos de genética.

Na época desses experimentos e observações, a Ciência ainda não conhecia os mecanismos de divisão celular, muito menos da estrutura do material genético. Nada se sabia a respeito de cromossomos, DNA, RNA e síntese de proteínas. Como veremos mais adiante, esses conhecimentos vieram confirmar as propostas de Mendel sobre **hereditariedade**.

Em mais de dez anos de meticuloso trabalho, Mendel isolou 22 variedades de ervilhas que originavam linhagens puras, ou seja, produziam descendência homogênea ao longo das muitas gerações analisadas.

Por que Mendel escolheu ervilhas para trabalhar?

Escolher um ser vivo com ciclo de vida longo, reprodução demorada, com gerações espaçadas no tempo e com características difíceis de serem observadas não seria boa ideia, pois tornaria inviável a um único pesquisador realizar a pesquisa genética.

Mendel tinha experiência em trabalhar com plantas, pois as cultivava no jardim do mosteiro de Brno, que se localiza na atual República Tcheca. No caso especial da ervilha, a grande vantagem de sua utilização no estudo da hereditariedade é ser uma planta que se reproduz por **autofecundação**, além de ser de fácil polinização e apresentar desenvolvimento rápido, gerando grande número de descendentes a cada cruzamento e com características hereditárias bem visíveis, fáceis de serem observadas.

















Vamos estudar, então, um pouco do trabalho desse importante cientista que é conhecido como o “pai da Genética”.

Veja mais informações sobre a vida de Mendel na *Leitura* da página 148.

## 2 O trabalho de Mendel e a Primeira Lei

Vamos conhecer sete caracteres da planta de ervilha (*Pisum sativum*) selecionados por Mendel. Eles estão representados na tabela seguinte.

Luís Moura/Arquivo da editora

Caráter	Aspecto dominante	Aspecto recessivo
Forma da semente	Lisa 	Rugosa 
Cor dos cotilédones da semente	Amarela 	Verde 
Cor do tegumento (casca) da semente	Cinza 	Branca 
Cor da flor	Púrpura 	Branca 
Posição da flor	Axilar 	Terminal 
Forma do fruto (vagem)	Liso e estofado 	Ondulado e achatado 
Cor do fruto (vagem)	Verde 	Amarelo 
Altura do caule	Alto 	Baixo 



### CURIOSIDADE

A **cor das sementes de ervilha**, que pode ser amarela ou verde, corresponde à cor dos cotilédones, material de reserva da semente. Assim, sementes de cotilédones esverdeados são verdes. Isso porque o envoltório (tegumento) da semente é quase transparente; apesar de existirem duas variedades de cor do tegumento – branca ou cinza – esta fina camada permite visualizar a cor dos cotilédones.



### MULTIMÍDIA

#### Simulador Mendeliano

<<http://cbme.usp.br/index.php/interatividade/86-simulador-mendeliano.html>>

Simule o resultado do cruzamento de ervilhas com sementes de cores diferentes e compreenda o mecanismo que explica a Primeira Lei de Mendel. Acesso em: 8 mar. 2016.







Observe na fotografia a variedade de **sementes de ervilha**: lisas, rugosas, amarelas e verdes.

As duas possibilidades estariam corretas, como procedimento experimental. Prosseguindo a leitura, o aluno pode verificar a validade de sua resposta.



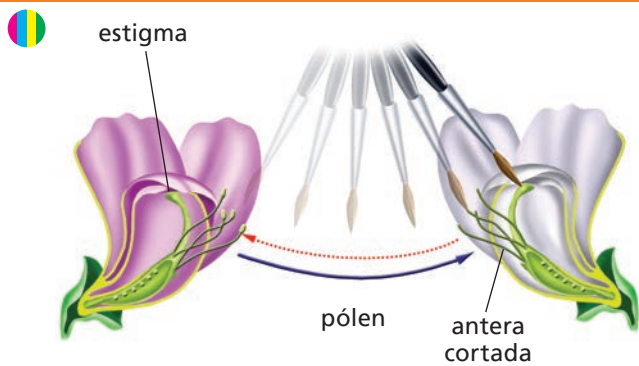
### PENSE E RESPONDA

Considere as duas alternativas a seguir e escolha aquela que pode representar o que Mendel fez em sua metodologia de trabalho:

- com o pólen de plantas produtoras de sementes lisas, polinizou flores de plantas produtoras de sementes rugosas;
- com o pólen de plantas produtoras de sementes rugosas polinizou flores de plantas produtoras de sementes lisas.

Justifique sua escolha no caderno.

### Procedimento promovendo fecundação cruzada



Para realizar a **fecundação cruzada**, o pólen da flor de um indivíduo é depositado no estigma da flor de outro indivíduo, com o auxílio de um pincel. As anteras da flor receptora são cortadas antes do procedimento, para evitar a autofecundação, que ocorre entre plantas de ervilha. As flores foram representadas em corte e com cores diferentes apenas para facilitar o entendimento do esquema.

Neste momento pode ser importante destacar aos alunos que os caracteres cor das pétalas e forma das sementes são independentes, ou seja, a cor da flor não está relacionada a um tipo de semente. Flores brancas podem produzir sementes lisas ou sementes rugosas, o mesmo sendo válido para as flores púrpuras e para o caráter cor da semente.

Vamos usar o caráter forma da semente como exemplo dos cruzamentos feitos por Mendel.

Mendel iniciou seus trabalhos com plantas de linhagens puras, ou seja, plantas que produziam descendentes com aspecto que não variava, quando realizavam **autofecundação**. Vejamos um exemplo de linhagem pura para a característica "forma da semente": uma planta que produz sementes lisas e gera apenas descendentes que também produzem sementes lisas, por autofecundação, não aparecendo plantas com sementes rugosas nessa linhagem.

Assim, com relação à forma da semente, Mendel separou plantas que, por autofecundação, produziam apenas sementes lisas e plantas que produziam apenas sementes rugosas.

Com a germinação dessas sementes, formavam-se plantas sempre de linhagens puras, ou seja, plantas que, por autofecundação, formavam apenas sementes lisas ou rugosas, conforme o caso. Todos esses indivíduos de linhagem pura constituem a **geração parental** (geração P), ou seja, geração de "pais".

Em seguida, Mendel fez cruzamentos entre as plantas de linhagens puras produtoras de sementes lisas e as plantas de linhagens puras produtoras de sementes rugosas.

Faça a atividade ao lado, proposta em *Pense e responda*. Ao resolver a atividade, você considerou possíveis as duas opções?

As duas metodologias estariam corretas. É indiferente usar pólen de qualquer uma das linhagens para polinizar as flores da outra linhagem. Esse tipo de procedimento resulta uma **fecundação cruzada**: o gameta masculino de um indivíduo (contido no grão de pólen) fecunda o gameta feminino contido na flor de outro indivíduo.

No caso da autofecundação, os grãos de pólen de uma flor chegam ao sistema reprodutor feminino dessa mesma flor, ocorrendo, em seguida, a fecundação e a formação da semente.

Como resultado do cruzamento entre plantas puras de ervilhas que por autofecundação dariam sementes lisas e plantas puras de ervilhas que por autofecundação dariam sementes rugosas, todas as plantas polinizadas formaram frutos com sementes lisas, constituindo a geração F<sub>1</sub> (veja quadro na página seguinte).

A geração  $F_1$  não é pura, pois é formada pelo cruzamento de plantas que produzem sementes lisas com plantas que produzem sementes rugosas. Assim, os indivíduos da geração  $F_1$  são chamados **híbridos**.

A característica que se manifesta nas gerações que não formam linhagens puras é chamada **dominante**, ao passo que a característica que não se manifesta é a **recessiva**.

Assim, quanto à forma das sementes de ervilhas, o caráter liso é dominante e o caráter rugoso é recessivo. Mas será que o aspecto rugoso, que é recessivo, desapareceu?

Mendel teve a seguinte ideia para responder a essa questão: deixar ocorrer a autofecundação entre indivíduos da geração  $F_1$ , obtendo a geração  $F_2$  (a segunda geração de filhos). Sua hipótese seria: "se o caráter verde, recessivo, não deixou de existir, ele deverá reaparecer em  $F_2$ ".

Analisando as sementes resultantes desses cruzamentos, Mendel obteve, em suas primeiras observações, 5474 sementes lisas e 1850 sementes rugosas. Antes de prosseguir a leitura, faça no caderno a atividade sugerida ao lado.

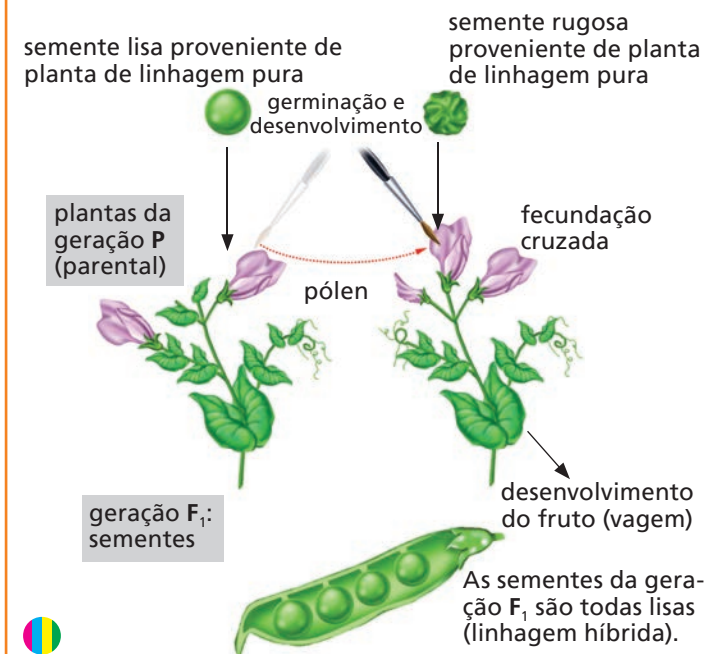
Você deve ter encontrado como resultado que, para cada semente rugosa, Mendel obteve 2,96 lisas, ou seja, aproximadamente, três sementes lisas para cada semente rugosa, o que significa taxas, aproximadas, de 75% de sementes lisas e 25% de sementes rugosas.

Essas taxas de 75% do caráter dominante e 25% do caráter recessivo são as que se obtêm sempre na geração  $F_2$ , em cruzamentos semelhantes, o que permite afirmar que o caráter recessivo está presente na geração  $F_1$ , embora oculto, ou seja, sem se manifestar.

Como explicar esse resultado?

Você deve ter em mente que as células de ervilha são diploides, isto é, apresentam pares de **cromossomos homólogos**. Os cromossomos homólogos apresentam os mesmos **locos gênicos**: se um determinado lugar de um cromossomo é ocupado por um gene, no cromossomo homólogo haverá o **alelo** ocupando a mesma posição. Essas definições são importantes para que você compreenda o que vem a seguir.

### Cruzamento entre plantas de linhagem pura quanto à forma da semente

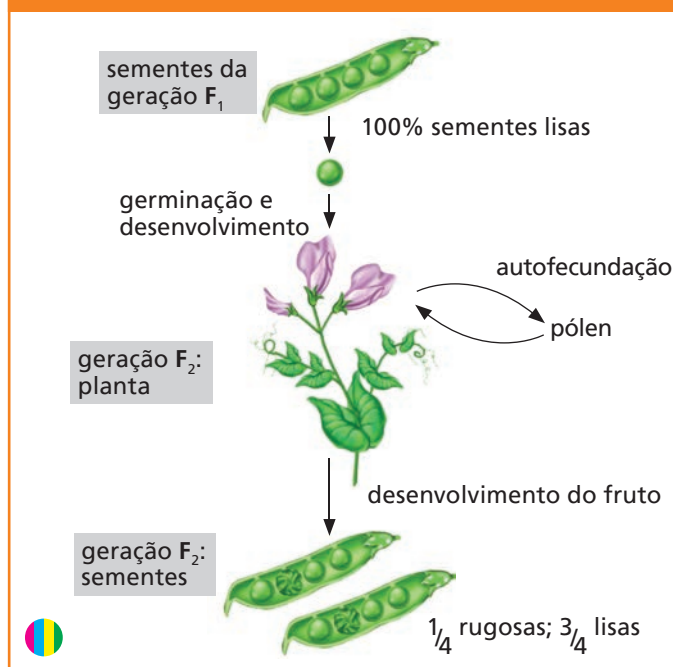


### PENSE E RESPONDA

Com o resultado obtido por Mendel, calcule a proporção aproximada entre as sementes lisas e as rugosas, na geração  $F_2$ .

Resposta pessoal. O aluno poderá verificar a validade de sua resposta prosseguindo a leitura do texto.

### Resultados da autofecundação de plantas híbridas ( $F_1$ ), considerando a forma da semente



## Fenótipos e genótipos possíveis para o caráter forma da semente

RR



Rr



rr



Com os conhecimentos que temos hoje a respeito da divisão celular e especialmente da meiose, que ocorre na formação dos gametas, podemos entender facilmente os estudos de Mendel.

Em ervilhas, o caráter liso é determinado por um alelo dominante em relação ao outro alelo, que determina o aspecto rugoso da semente. Assim, o aspecto rugoso só se manifesta quando o alelo que determina o aspecto liso não está presente. Representando por  $R$  o alelo para liso e por  $r$  o alelo para rugoso, temos três possibilidades – veja ao lado.

Essas possibilidades representam os três **genótipos** possíveis para o caráter que estamos estudando:  $RR$ ,  $Rr$  e  $rr$ .

Os indivíduos que possuem em suas células os dois alelos  $R$  (genótipo  $RR$ ) pertencem a uma linhagem pura e produzem sementes lisas, quando autofecundados; os que possuem dois alelos  $r$  (genótipo  $rr$ ) também pertencem a uma linhagem pura, mas produzem sementes rugosas, por autofecundação. Os que possuem um alelo  $R$  e um  $r$  (genótipo  $Rr$ ) pertencem a uma linhagem híbrida e produzem por autofecundação sementes lisas (75%) e sementes rugosas (25%).

A característica ou aspecto que se manifesta no indivíduo é o **fenótipo**. Então, considerando o caráter forma da semente de ervilha, embora sejam três os genótipos, são apenas dois os fenótipos condicionados por eles:

- ▶ os genótipos  $RR$  e  $Rr$  condicionam o fenótipo semente lisa;
- ▶ o genótipo  $rr$  condiciona o fenótipo semente rugosa.

Observação: o genótipo  $Rr$  condiciona o fenótipo semente lisa, porque o alelo  $R$  é dominante em relação ao seu alelo  $r$ . Alelos recessivos não se manifestam em dose simples.

Lembre-se: quando se manifesta o fenótipo condicionado pelo alelo recessivo, os alelos são iguais entre si. Em outras palavras, **o fenótipo recessivo é sempre puro**. O termo mais utilizado em genética para os genótipos puros é homozigóticos.

Você certamente encontrará em questões e textos de genética as expressões **homozigótico** e **heterozigótico**. Recorra, então, ao glossário etimológico e explique o que você acha que esses termos podem significar.

A etimologia nos dá uma ideia do significado, mas precisamos adaptar essa ideia ao conceito correto. Assim, homozigótico origina-se de igual (*homo*) e zigoto (*ovo*), o que nos leva a algo como “zigoto igual” ou “ovo igual”. No entanto, não é exatamente isso, mas sim “indivíduos que têm alelos iguais”. De forma semelhante, heterozigótico deve ser entendido como “indivíduo que tem alelos diferentes” (*hetero*). Como você pode deduzir, homozigótico refere-se aos indivíduos que compõem a linhagem pura; heterozigótico tem o mesmo significado que híbrido.

### ATENÇÃO

Nos exemplos de cruzamentos que estamos considerando, escolhemos **apenas uma característica**, ou caráter, para analisar (no caso, a forma da semente de ervilha). As outras características da planta podem variar; as sementes podem ser, por exemplo, amarelas ou verdes, mas apenas a textura da casca deve ser considerada ao se avaliar a herança da forma da semente. A análise de dois caracteres simultaneamente (forma e cor da semente, por exemplo) é tema do capítulo 8.

### RECORDE-SE

#### Genótipo

O par de alelos de um indivíduo diploide, ou seja, os dois alelos de um loco gênico.

#### Fenótipo

Características ou aspectos apresentados por um indivíduo, que são determinadas pelo genótipo e moduladas por fatores do meio.





## CURIOSIDADE

## A galinha carijó ou pedrês

O fenótipo depende do genótipo e da ação do meio. O termo vem do grego *phaino*, que significa “brilhante”, o que nos permite entender, numa interpretação livre, que o fenótipo é “aquilo que é visível”.

Certos caracteres podem ocorrer em indivíduos que possuem genótipo diferente, condicionando outros caracteres, por alterações no meio. Vejamos um exemplo.

Existe um alelo dominante que condiciona o aspecto rastejante em galináceos, originando galinha com pernas e asas curtas – popularmente conhecida como carijó ou pedrês. Galinhas com genótipo homozigótico recessivo não possuem o fenótipo rastejante.

A aplicação de ácido bórico em ovos fecundados (galados) gera filhotes com membros curtos, mesmo que seus genótipos não apresentem o alelo dominante! Dizemos que foi produzida, por ação do ácido bórico, uma **fenocópia** do fenótipo carijó.

> Galinha carijó.



Prensa Três

Até agora estamos representando os genótipos que correspondem aos genes existentes nas células somáticas, que são diploides. No entanto, como ficam os gametas formados pelas plantas que possuem cada um desses três genótipos ( $RR$ ,  $Rr$  e  $rr$ )?

Os gametas são células haploides, ou seja, possuem apenas um alelo de cada par existente nas células somáticas do indivíduo. Isso significa que, para um determinado loco gênico, existe um único alelo.

Assim, considerando inicialmente as plantas de ervilha que produzem sementes lisas e cujo genótipo é  $RR$ , observa-se que todos os seus gametas serão portadores de um único alelo  $R$ . Plantas com genótipo  $rr$  produzirão apenas gametas  $r$ .

Na geração  $F_1$ , todos os descendentes são híbridos, pois todos recebem um cromossomo com o alelo  $R$  e um com o alelo  $r$ , formando uma célula-ovo com genótipo  $Rr$  (veja quadro acima). As plantas que se desenvolvem desse tipo de célula-ovo produzem sementes lisas e possuem genótipo  $Rr$ . Elas formarão dois tipos de gametas: os portadores do alelo  $R$  e os gametas portadores do alelo  $r$ , em igual proporção.

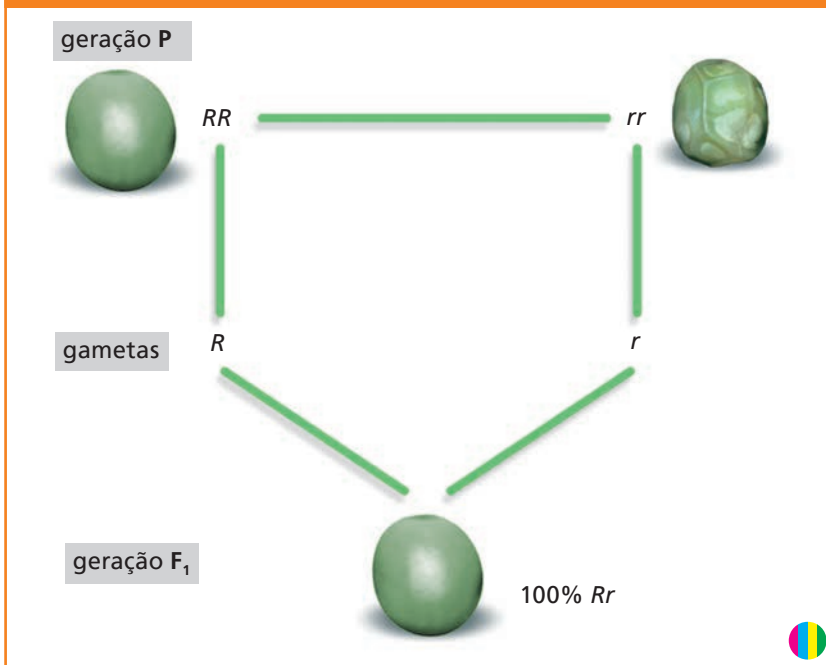
Veja, então, os tipos de gametas formados pelas plantas da geração  $F_1$ :

Geração  $F_1$ :

Gametas:



## Cruzamento entre plantas de linhagem pura quanto à forma da semente



Luís Moura/Arquivo da editora



## CURIOSIDADE

O **quadro de Punnett**, também conhecido como “quadrado de Punnett”, é uma forma de representar cruzamentos e possibilidades genotípicas para os descendentes, idealizada pelo britânico Reginald Crundall Punnett (1861-1926). Ele fez importantes estudos em genética de populações e na interpretação estatística das leis de Mendel.



## RECORDE-SE

**Célula diploide**

Possui pares de cromossomos homólogos e, portanto, dois alelos para cada loco gênico. As células somáticas da maioria dos animais e plantas são diploides.

**Célula haploide**





Possui um cromossomo de cada tipo e, portanto, apenas um alelo para cada loco gênico. Os gametas são haploides.



↗ **Gregor Mendel** analisando plantas de ervilha.

E quanto à geração  $F_2$ ?

A geração  $F_2$  é formada a partir do encontro de um gameta masculino com um feminino. Como ambos podem ser portadores de  $R$  ou de  $r$ , temos as seguintes possibilidades na formação do zigoto, mostradas no quadro abaixo, que recebe o nome de **quadro de Punnett**.

Gametas	$R$	$r$
$R$	$RR$ (lisa) 	$Rr$ (lisa) 
$r$	$Rr$ (lisa) 	$rr$ (rugosa) 

Luís Moura/Arquivo da editora

No tipo de cruzamento mostrado acima, 50% dos descendentes são heterozigóticos (híbridos) como os pais e os outros 50% são todos homozigóticos, sendo 25% com o caráter dominante e 25% com o caráter recessivo.

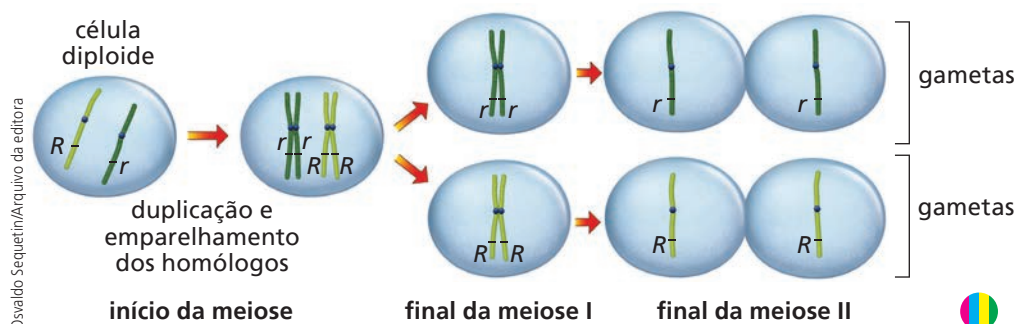
A análise dos dados permite compreender os resultados obtidos por Mendel. Tais resultados certamente serão obtidos por qualquer experimentador que volte a realizar os mesmos cruzamentos.

Analise os dados a seguir, mostrando os resultados obtidos:

- Número de fenótipos obtidos: 2 → sementes lisas e sementes rugosas.
- Número de genótipos obtidos: 3 =  $RR$ ,  $Rr$  e  $rr$ .
- Genótipos responsáveis pelo fenótipo semente lisa:  $RR$  e  $Rr$ .
- Genótipo responsável pelo fenótipo semente rugosa:  $rr$ .
- Número de sementes com fenótipo semente lisa:
  - em cada quatro: 3;
  - em cada cem: 75, ou seja, 75%.
- Número de sementes com fenótipo semente rugosa:
  - em cada quatro: 1;
  - em cada cem: 25, ou seja, 25%.
- Número de sementes lisas puras (genótipo  $RR$ ):
  - em cada quatro sementes da geração  $F_2$ : 1;
  - em cada cem: 25, ou seja, 25%.
- Número de sementes lisas híbridas (genótipo  $Rr$ ):
  - em cada quatro sementes da geração  $F_2$ : 2;
  - em cada cem: 50, ou seja, 50%.
- Número de sementes rugosas (genótipo  $rr$ ):
  - em cada quatro sementes da geração  $F_2$ : 1;
  - em cada cem: 25, ou seja, 25%.

Embora todas as plantas que foram cruzadas fossem originadas de sementes lisas da geração  $F_1$ , 25% das sementes obtidas tinham o genótipo  $rr$ , sendo, portanto, rugosas. Reapareceu, portanto, o caráter rugoso, que estava oculto na geração  $F_1$ , constituída exclusivamente por plantas híbridas para o caráter forma da semente (genótipo  $Rr$ ).

Tal resultado somente é possível porque os cromossomos homólogos – e, por consequência, os alelos neles contidos – se separam na formação dos gametas; cada gameta fica, portanto, com apenas um dos alelos. Assim, quando as plantas da geração  $F_1$  se reproduzem, dando origem à geração  $F_2$ , formam dois tipos de gametas: os que possuem o alelo  $R$  e os que possuem o alelo  $r$ .



Esquema simplificado ilustrando a formação de gametas por **meiose**, a partir de uma célula diploide. Por simplificação, representamos apenas um par de cromossomos homólogos. Os alelos foram indicados por um traço.

Segundo Mendel, os gametas são “puros”, o que pode ser entendido da seguinte maneira: como um gameta carrega apenas um alelo, ele é capaz de transmitir apenas uma informação genética. No caso dos gametas de uma planta de ervilha híbrida para o caráter forma da semente, essa informação poderá ser de semente lisa ou de semente rugosa.

Quando Mendel formulou seu modelo matemático que permitia explicar a herança de diversas características em ervilhas, não se sabia o que era gene, alelo e cromossomo, e desconhecia-se a meiose. Apesar disso, ele chegou a interpretações corretas sobre a transmissão hereditária de determinados caracteres. O que Mendel chamou “fatores” hoje sabemos que são alelos (como  $R$  e  $r$ , no exemplo que analisamos). O monge formulou a conclusão de seus resultados, hoje conhecida como Primeira Lei de Mendel, do seguinte modo:

### Primeira Lei de Mendel:

“Cada caráter é determinado por um par de fatores e estes se separam na formação dos gametas, que são sempre puros.”

Hoje, já com novos conceitos, podemos interpretar a Primeira Lei de Mendel do seguinte modo: cada caráter é determinado por um par de alelos, porém os gametas possuem apenas um desses alelos, ou seja, podem transmitir somente uma informação genética para esse caráter.

Resolva a questão proposta ao lado. Para saber se acertou a atividade, vamos pensar inicialmente se seria possível fazer um cruzamento de semente com semente.

Não sendo possível cruzar uma semente com outra, a expressão “cruzamento de ervilha amarela com ervilha verde” não se refere à semente, mas à planta que se forma pela germinação da semente. Lembre-se: o genótipo, presente em todas as células da planta adulta, é o mesmo da semente que deu origem a essa planta. Assim, para cruzar ervilha verde com ervilha amarela, é preciso plantar as sementes, esperar as plantas se desenvolverem e depois polinizar as flores de uma com o pólen da outra. Os enunciados das questões de genética geralmente omitem essas etapas, para torná-los mais práticos.

50% sementes verdes e 50% amarelas. O aluno poderá verificar a validade de sua resposta ao prosseguir a leitura do texto, na página 140.



### PENSE E RESPONDA





Verifique se você compreendeu a Primeira Lei de Mendel: imagine o cruzamento de ervilhas verdes (genótipo  $vv$ ) com ervilhas amarelas heterozigóticas (genótipo  $Vv$ ). Qual será a proporção esperada de sementes verdes e amarelas nos descendentes desse cruzamento? Resolva em seu caderno.



A planta originada da semente verde, sendo  $vv$ , só pode fornecer alelos para o caráter verde ( $v$ ), enquanto a planta originada da semente amarela, sendo heterozigótica ( $Vv$ ), fornece, para os gametas, tanto o alelo  $V$  quanto o  $v$ . Assim, pela polinização e consequente fecundação, formam-se sementes  $Vv$  ou  $vv$ , que condicionam, respectivamente, plantas com os fenótipos amarelo e verde, em igual proporção, ou seja, 50%  $Vv$  e 50%  $vv$ .

É o que mostra o quadro de Punnett seguinte:

$$Vv \times vv$$

Gametas	$V$	$v$
$v$	$Vv$ (amarela) 	$vv$ (verde) 
$v$	$Vv$ (amarela) 	$vv$ (verde) 

Luís Moura/Arquivo da editora

> **Quadro de Punnett** representando os fenótipos e genótipos esperados como resultado do cruzamento proposto.

Compreendendo as explicações elaboradas por Mendel para os cruzamentos, podemos prever qual será a proporção esperada de descendentes com determinados genótipos ou fenótipos a partir de um cruzamento. Mendel forneceu, portanto, um modelo matemático que permite calcular as **probabilidades** de ocorrência de certos aspectos, nos casos em que existe uma relação de dominância entre os alelos que determinam esses aspectos.

Vamos analisar, agora, a seguinte questão: qual a probabilidade de um casal heterozigótico para um par de alelos (representados aqui por  $H$  e  $h$ ) ter um filho também heterozigótico? O cruzamento e os resultados estão especificados no quadro de Punnett a seguir:

$$Hh \times Hh$$

Gametas	$H$	$h$
$H$	$HH$ (homozigótico dominante)	$Hh$ (heterozigótico)
$h$	$Hh$ (heterozigótico)	$hh$ (homozigótico recessivo)

Nesse tipo de cruzamento, 50% dos descendentes são heterozigóticos como os pais e os outros 50% são homozigóticos, sendo 25% com o caráter dominante e 25% com o caráter recessivo. Assim, a chance de nascer um descendente heterozigótico é de 50%.

### 3 Heredogramas

Muitas vezes um cruzamento e a descendência gerada são representados sob a forma de um **heredograma**, um tipo especial de diagrama, utilizado para facilitar a observação e a compreensão rápida de uma genealogia, ou seja, dos padrões de herança de uma característica em uma família.

Nos heredogramas, usam-se símbolos para os sexos e para a ocorrência da característica em estudo. Geralmente, o sexo feminino é representado por círculo e o masculino por quadrado.



#### RECORDE-SE

##### Primeira Lei de Mendel

Explica os casos de herança em que um caráter é condicionado por um par de alelos.



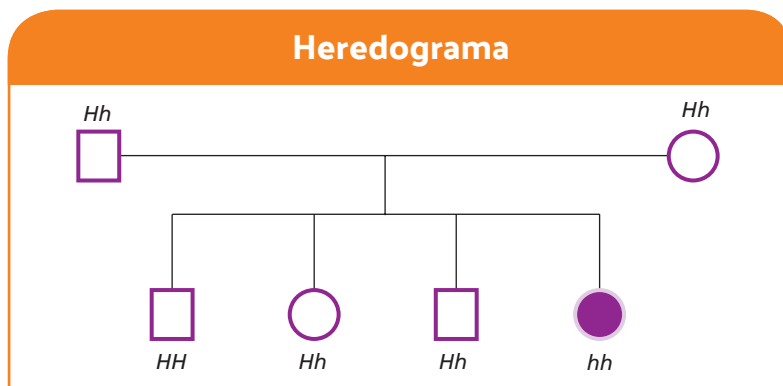
#### PENSE E RESPONDA

Consulte o glossário etimológico e explique, em seu caderno, a origem e o significado da palavra **heredograma**.

Diagrama que representa a herança (*heredo*) de genótipos.

Quando se pretende destacar uma das formas da característica, recessiva ou dominante, em um indivíduo, o símbolo é representado cheio. Por exemplo: uma mulher com a condição recessiva do caráter pode ser representada por um círculo cheio e uma mulher com a condição dominante do caráter, por um círculo vazio.

Veja o exemplo ao lado, em que a condição recessiva é mostrada com símbolo cheio.



Equipe NATH/Arquivo da editora

^ **Heredograma** representando descendência de um casal de indivíduos heterozigóticos para um determinado caráter. Uma filha do casal apresenta a condição recessiva.

## 4 Cruzamento-teste

Para saber se o indivíduo portador de fenótipo dominante para uma característica é homozigótico ou heterozigótico, realiza-se um **cruzamento-teste**, que consiste em cruzar o indivíduo em estudo com outro de fenótipo recessivo para aquela característica.

Por exemplo: no caso das sementes de ervilha, as sementes amarelas podem ser homozigóticas (VV) ou heterozigóticas (Vv). Olhando para elas, não é possível saber quais são as homozigóticas e quais são as heterozigóticas, pois o fenótipo é o mesmo, ou seja, elas são iguais quanto à cor.

Para saber se são homozigóticas ou heterozigóticas realizamos o cruzamento-teste.

Basta fazer a semente germinar e cruzar a planta resultante com uma planta originada de uma semente verde, que é sempre pura, ou seja, homozigótica (vv).

Se todas as sementes obtidas nesse cruzamento forem amarelas, isso significa que todas receberam o alelo que condiciona essa cor; a planta é, então, homozigótica (VV). Se também forem produzidas sementes verdes, a planta considerada inicialmente é heterozigótica (Vv), fornecendo, para os descendentes, alelos para amarelo e alelos para verde.

A Primeira Lei de Mendel estuda os casos de **monoibridismo**: analisa um caráter por vez.

Acompanhe agora a resolução desta questão:

Uma geração de ervilhas é formada somente por plantas altas. Sabemos que plantas baixas são homozigóticas recessivas. Como podemos fazer para saber se as plantas altas são homozigóticas ou heterozigóticas, para o caráter altura da planta?

Podemos realizar um cruzamento-teste de uma dessas plantas altas com plantas baixas, que são homozigóticas recessivas.

Se, tendo sido feito o cruzamento-teste, a geração resultante for de plantas altas e plantas baixas, poderemos concluir que a geração investigada era heterozigótica (híbrida).

Essa é uma questão relacionada à Primeira Lei de Mendel, pois estamos considerando um caráter – a altura da planta – condicionado por um par de alelos. A seguir, veremos mais um exemplo de monoibridismo: uma característica humana condicionada por um par de alelos.



Kim Sayer/Getty Images

^ Planta de **ervilha**.

## 5 Exemplo de monoibridismo

### 5.1 Sistema Rh

✓ **Macaca reso** com filhote. As fêmeas adultas medem cerca de 45 cm de comprimento, sem considerar a cauda.

David Gee/Alamy/Clow Images



DIVULGAÇÃO PNLD

Os outros fatores que compõem o sistema Rh (fatores C, E) ocorrem em taxas pouco expressivas na população humana.

De modo geral, quando é determinado o **fator Rh**, o resultado representa a presença ou ausência do **fator D**.

Por simplificação, vamos falar apenas em Rh e tratar a herança desse fator como um caso que pode ser explicado pela Primeira Lei de Mendel, devido a um par de alelos com relação completa de dominância.

O nome Rh foi atribuído a essa proteína por ela ter sido detectada e estudada inicialmente em macacos resos (também conhecidos pelo termo *rhesus*), da espécie *Macaca mulatta*.

O fator Rh é uma proteína que ocorre nas hemácias de todos os macacos desse gênero e pode ou não existir nas hemácias humanas, como vimos anteriormente. Quando ocorre, dizemos que o indivíduo é Rh positivo ( $Rh^+$ ); quando não ocorre, dizemos que é Rh negativo ( $Rh^-$ ).

A produção do fator Rh é condicionada por um alelo dominante, que chamaremos de  $R$ ; a não produção ou ausência do fator Rh é condicionada pelo alelo recessivo  $r$ .

Assim, como  $R$  e  $r$  são alelos, os indivíduos podem apresentar três genótipos para esse caráter:  $RR$ ,  $Rr$  e  $rr$ .

Os genótipos  $RR$  e  $Rr$  condicionam o fenótipo  $Rh^+$  e o genótipo  $rr$  condiciona o fenótipo  $Rh^-$ . A herança do fator Rh é um caso de monoibridismo.

Sabendo disso, podemos afirmar que é possível um casal em que ambos são  $Rh^+$  gerar um filho  $Rh^-$ . O quadro abaixo permite visualizar as probabilidades: este casal pode gerar um(a) filho(a)  $Rh^+$  com probabilidade de 75%, sendo 25% a chance de gerar uma criança  $Rh^-$ .

Genótipo da mãe: $Rr$		Genótipo do pai: $Rr$	
Óvulos: $R$ e $r$		Espermatozoides: $R$ e $r$	
Gametas		$R$	$r$
$R$	$RR$ ( $Rh^+$ )	$Rr$ ( $Rh^+$ )	
$r$	$Rr$ ( $Rh^+$ )	$rr$ ( $Rh^-$ )	

#### CURIOSIDADE

O nome *rhesus* foi dado aos macacos da espécie *Macaca mulatta* pelo francês Jean-Baptiste Audebert (1759-1800), um artista especializado na pintura de animais.



Biblioteca do Congresso; Washington D.C.



## 6 Monoibridismo e modificações nas proporções fenotípicas

### 6.1 Ausência de dominância

Em todos os exemplos de monoibridismo estudados até agora, um dos alelos é dominante em relação ao outro e o fenótipo que se manifesta nos indivíduos heterozigóticos é o mesmo do alelo dominante. O fenótipo condicionado pelo alelo recessivo manifesta-se apenas quando esse alelo está em homozigose, ou seja, em dose dupla.

Observe, no entanto, os cruzamentos seguintes, realizados com uma planta da espécie *Mirabilis jalapa*, popularmente conhecida por maravilha ou bonina.





Vamos considerar flores de duas cores, desenvolvidas por essas plantas: vermelha, condicionada por um alelo que vamos chamar *V*, e branca, condicionada pelo alelo *B*.

O que deve acontecer do cruzamento entre plantas de flores vermelhas e plantas de flores brancas?

Esse caso é diferente dos que você estudou até agora, pois se verifica a **ausência de dominância** entre os alelos que condicionam o caráter cor das flores. Do cruzamento, formam-se plantas com flores róseas.

As flores vermelhas possuem genótipo *VV* e as brancas *BB*. Assim, os gametas, masculinos ou femininos, possuem o alelo *V* ou o alelo *B*, conforme sejam produzidos nas plantas de flores vermelhas ou brancas.

Pelo cruzamento dessas plantas, forma-se o zigoto *VB*, que dará origem a uma planta que produz flores róseas. Veja o quadro abaixo, que representa o cruzamento *VV* × *BB*:

		Gametas		<i>V</i>	<i>V</i>
<i>BB</i>	<i>B</i>	<i>VB</i> (rósea)		<i>VB</i> (rósea)	
	<i>B</i>	<i>VB</i> (rósea)		<i>VB</i> (rósea)	

Não há dominância e o híbrido, cujo genótipo é *VB*, possui fenótipo intermediário: flor vermelha com flor branca dá flor rósea. Esse é um caso, portanto, de **dominância intermediária**. Representamos os alelos envolvidos com letras maiúsculas para indicar a ausência de dominância entre eles.



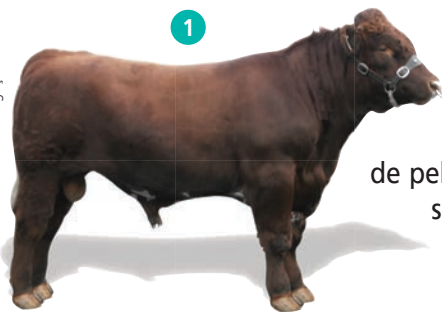
David Hughes/SPL/Latinstock

▲ **Maravilha** (*Mirabilis jalapa*), planta comumente cultivada em jardins e canteiros. As flores possuem cerca de 2,5 cm de diâmetro.

Fotos: Vitoria Ang/Acervo da fotógrafa

Divulgação

1



2



3



Este outro caso, envolvendo as mesmas cores (vermelho e branco) é também interessante: bois da raça *Shorthorn* podem ter pelos vermelhos, brancos ou pelos vermelhos alternados com brancos.

Os bois de pelos vermelhos são homozigóticos de genótipo  $VV$  e os de pelos brancos são homozigóticos de genótipo  $BB$ . Os indivíduos que possuem pelos alternados são os heterozigóticos ( $VB$ ), resultantes do cruzamento de indivíduos de pelos vermelhos com indivíduos de pelos brancos.

No caso descrito, não há relação de dominância entre os alelos, nem herança intermediária. Se houvesse herança intermediária, os pelos dos híbridos teriam cor intermediária entre vermelha e branca, o que não ocorre. Como os pelos vermelhos intercalam-se com os brancos, mantendo evidentes as duas colorações, fala-se em **codominância**.

## <6.2> Alelos letais

A cor amarela do pelo de camundongos é condicionada por um alelo  $A$ , dominante sobre o alelo  $a$ , que condiciona a cor preta. Assim, todo cruzamento experimental realizado entre machos e fêmeas, ambos pretos, originava somente descendentes de pelagem preta, confirmando o esperado pela Primeira Lei de Mendel.

No entanto, os cruzamentos entre machos e fêmeas amarelos nunca resultavam as proporções esperadas pela Primeira Lei de Mendel, pois:

- ▶ se pelo menos um dos animais cruzados fosse homozigótico, todos os descendentes deveriam ser amarelos – o que não acontecia;
- ▶ se ambos fossem heterozigóticos (híbridos), a proporção esperada seria de 3 amarelos para 1 preto – o que também não acontecia.

O resultado obtido do cruzamento entre indivíduos amarelos obedece sempre a proporção de 2 amarelos para 1 preto!

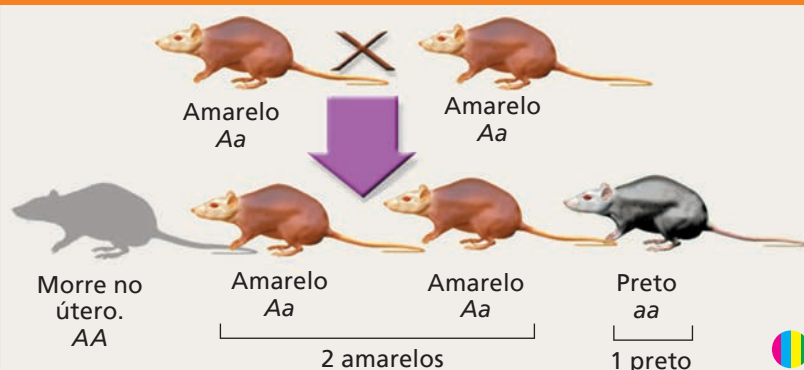
Como explicar essa discrepância, em relação à Primeira Lei de Mendel?

O primeiro cientista a estudar essa questão foi o geneticista francês Cuénot, em torno de 1905. Cuénot chegou a levantar a hipótese de que os espermatozoides portadores de cromossomos com o alelo  $A$  não conseguiam fecundar um óvulo também portador do mesmo alelo  $A$ .

Essa hipótese foi, no entanto, rejeitada pelas pesquisas seguintes de vários cientistas, ficando demonstrado que a fecundação ocorre, o ovo se forma e se desenvolve, mas o indivíduo portador do genótipo  $AA$  morre no útero materno. Concluiu-se, então, que o alelo  $A$ , embora dominante em relação ao alelo  $a$ , é letal quando em dose dupla. Isso significa que quando nasce um camundongo de pelagem amarela, ele é certamente heterozigótico ( $Aa$ ).

Interessante é que, como o alelo  $A$  é letal somente em dose dupla, pode-se afirmar que ele é recessivo para letalidade.

### Exemplo de herança de alelo letal



Luís Moura/Arquivo da editora

DIVULGAÇÃO PNLD

AGE Fotostock/Keystone Brasil

Jean Pierre Martins Machado/Acervo do fotógrafo



## ATIVIDADE PRÁTICA

### Como se verifica a frequência de um fenótipo na população?

Organizados em equipes, você e seus colegas poderão fazer uma investigação, embora simplificada, nos moldes dos cientistas que pesquisam a frequência de alelos de um determinado gene em uma população.

#### < Material necessário >

- Tabela ou formulário elaborado para coleta de dados;
- calculadora (opcional).

**! ALERTA**  
A atividade deve ser feita apenas sob a supervisão do professor.

#### < Procedimentos >

1. Sua equipe deverá verificar as variações de duas características do ser humano: a forma do lobo da "orelha" (pavilhão auricular) e a capacidade de enrolar a língua. Cada uma dessas características possui duas variações possíveis. Verifique-as nas imagens a seguir.



Graham Dunn/Alamy/Glow Images

^ O homem e o menino possuem a capacidade de enrolar a língua.



AGE Fotostock/Grupo Keystone

^ Pavilhão auricular com lobo solto.



Oxford Scientific/Lainstock

^ Pavilhão auricular com lobo aderente.

2. Com orientação de seu professor, escolha a população amostral: sua turma, todos os alunos do mesmo ano que você ou todos os alunos e funcionários da escola. Preparem uma tabela ou formulário para anotar o que for observado em cada indivíduo da população amostral.
3. Com o material para anotação dos resultados, realizem a coleta dos dados, verificando em cada colega da população amostral qual das variações de cada caráter está presente. No caso do lobo do pavilhão auricular, deve-se observar se é aderente ou solto. No caso da capacidade de enrolar a língua, deve-se pedir que a pessoa tente enrolar movimentando as laterais da língua para cima.

#### < Interpretando os resultados >

- a. Organizem os dados coletados, respondendo: ao total de pessoas entrevistadas, quantas possuem capacidade de enrolar a língua? Quantas possuem lobo aderente?
- b. Com os dados numéricos obtidos, calculem as frequências de cada variação dos dois caracteres, dentro da população amostral. Utilizem seus conhecimentos de Matemática para fazer esses cálculos.
- c. As frequências calculadas foram genotípicas ou fenotípicas? Justifiquem a resposta.
- d. Consultando livros ou sites, procurem descobrir qual o tipo de herança que determina a característica lobo do pavilhão auricular e qual determina a capacidade de enrolar a língua. Em seguida, relacionem esses dados com frequências obtidas. Indiquem os resultados na forma de um relatório ou de uma apresentação com cartazes e compare-os com os das outras equipes.

A respeito da atividade proposta em *Indo além*, consulte o Manual.

Por simplificação, vamos considerar que os caracteres capacidade de enrolar a língua e aspecto do lobo do pavilhão auricular são determinados, cada um, por um par de alelos. Vamos chamar de *A* e *a* os alelos que condicionam o caráter forma do pavilhão auricular, e de *B* e *b* os alelos que condicionam a capacidade de enrolar a língua. Calculem as frequências dos genótipos *aa* e *bb* na população amostral.

d) O lobo solto do pavilhão auricular e a capacidade de enrolar a língua são variações determinadas pelo alelo dominante. Veja mais informações no Manual.

#### < Indo além >

b) A resposta deve estar de acordo com os valores obtidos. A frequência pode ser calculada por uma regra de três, em que o total de pessoas da amostra corresponde ao 100% e o número de pessoas com capacidade de enrolar a língua é x%. O mesmo raciocínio deve ser feito para a característica lobo aderente.





## Alelos

No texto, dissemos que “[...] cromossomos homólogos apresentam os mesmos locos gênicos: se um determinado lugar de um cromossomo é ocupado por um gene, no outro cromossomo haverá o alelo, ocupando a mesma posição”.

A afirmação é verdadeira: os alelos sempre ocupam o mesmo loco em um par de cromossomos homólogos.

Alelos são formas alternativas (variações) de um gene que condiciona determinada caracte-

terística. Assim, o que chamamos de alelo “dominante” e alelo “recessivo” são formas alternativas de um gene relacionado a um caráter.

Um indivíduo pode apresentar, em um par de cromossomos homólogos, dois alelos idênticos, sendo então homozigótico para o caráter, ou um alelo diferente do outro, sendo esta a condição heterozigótica. Observe no esquema a seguir uma representação muito simplificada de um par de cromossomos homólogos, destacando três locos gênicos hipotéticos.

Cromossomos homólogos			
	R	a	V
Genótipo	Homozigótico: dois alelos dominantes. No exemplo: RR.	Homozigótico: dois alelos recessivos. No exemplo: aa.	Heterozigótico: um alelo dominante e um alelo recessivo. No exemplo: Vv.

Maps World/Arquivo da editora

## Os fenótipos dominantes são mais frequentes do que os recessivos?

Os alelos dominantes são sempre os mais comuns nas populações? Eles são “melhores” em termos de fenótipo?

Para responder a tais questões, vamos analisar o seguinte: o que é mais comum, uma pessoa com cinco ou com seis dedos em cada mão ou pé?

A ocorrência de mais de cinco dedos na mão ou no pé é pouco frequente e condicionada por um alelo dominante. Isso é curioso, pois intuitivamente esperamos que o caráter condicionado pelo alelo dominante seja o mais frequente em uma população do que o caráter condicionado pelo alelo recessivo, o que não acontece para muitas características.

Essa nossa expectativa decorre da ideia de que, em uma população, os alelos dominantes são mais frequentes ou pelo menos em igual número que os recessivos. Podemos associar a palavra “dominante” à ideia de melhor, de vantajoso, pelo conceito de “dominar” que utilizamos em nosso dia a dia. Trata-se, no entanto, de uma concepção equivocada para a genética, pois os alelos recessivos podem ocor-

rer com frequência muito maior que os dominantes em uma população, dependendo do gene em questão. É o caso do caráter conhecido como **polidactilia**, que é a presença de mais de cinco dedos na mão e/ou no pé (*poli* = muitos; *dactilia* = relativo a dedos): o alelo dominante é menos frequente na população do que o recessivo. Todas as pessoas que possuem cinco dedos em cada mão e em cada pé são homozigóticas recessivas para esse caráter.

- ✓ A **polidactilia** – presença de mais de cinco dedos – é condicionada por alelo dominante.



Prensa Três



## 1 “Tal pai, tal filho...”

Essa expressão faz parte da cultura popular e é muito usada para realçar qualidades ou defeitos de uma pessoa, de forma elogiosa ou pejorativa a pais e filhos.

Parece que o primeiro registro dessa expressão na literatura é o que se vê em *Os lusíadas*, de Luís Vaz de Camões, referindo-se a Dom Afonso Henriques, o primeiro rei de Portugal, que teria herdado a coragem de seu pai. É o que se pode ler na estrofe 28 do Canto Terceiro daquele que é para muitos o mais famoso poema da literatura portuguesa, publicado em 1572:

28

*Quando, chegando ao fim de sua idade,  
O forte e famoso húngaro extremado,  
Forçado a fatal necessidade,  
O espírito deu a quem lho tinha dado.  
Ficava o filho em tenra mocidade,  
Em quem o pai deixava o seu traslado,  
Que do mundo os mais fortes igualava:  
Que de tal pai tal filho se esperava.*

### DEPOIS DA LEITURA...

Como essa expressão, no contexto em que é usada em *Os lusíadas* e na linguagem popular, se relaciona com o que você aprendeu a respeito de hereditariedade? A expressão traduz a noção de que as características dos descendentes são herdadas de seus progenitores. No entanto, há caracteres herdados geneticamente, enquanto algumas características são aprendidas desde a infância.

## 2 Genes, ambiente e evolução

Conforme comentamos neste capítulo, as características de um ser vivo não são determinadas unicamente por seu conjunto de genes, mas sofrem influência de fatores ambientais. Vamos conhecer um exemplo dessa influência.

Você já ouviu falar nos sapos-veneno-de-flecha? São os dendrobates, pequenos anfíbios anuros encontrados na Amazônia. O veneno de sua pele era usado por indígenas em flechas e zarabatanas e daí veio seu nome popular. Ficou comprovado que, em algumas espécies de dendrobates, o veneno não é produzido por eles, mas pelas formigas que eles comem.

As formigas cultivam um tipo de fungo dentro do formigueiro e dele se alimentam. Elas levam pedaços de folhas de uma planta venenosa para o formigueiro e o fungo decompõe essas folhas, retirando delas seu alimento. O veneno da planta acumula-se no fungo e, conseqüentemente, nas

formigas, sem causar prejuízo a elas. Um dendrobate pode consumir centenas de formigas por dia e, por esse caminho indireto, o veneno da planta acumula-se em seu corpo. Cientistas observaram que quando um dendrobate é nascido e criado em cativeiro, recebendo alimento diferente de sua dieta no ambiente natural, não apresenta o veneno potente e letal na pele.

Compreender até que ponto as variações fenotípicas são determinadas pelos genes é fundamental no estudo da evolução dos seres vivos. As variações no genótipo são transmitidas para os descendentes, mas o fenótipo vai determinar as condições de sobrevivência de determinados indivíduos em uma população, o que afetará a variabilidade genética ao longo das gerações.



Junior Bildarchiv/Glow Images

^ **Dendrobate**, que mede 3 cm de comprimento.

### DEPOIS DA LEITURA...

Suponha a seguinte situação: uma planta produz folhas mais largas quando se desenvolve em ambiente sombreado. Como você faria para verificar se o caráter largura da folha é determinado geneticamente?

Resposta pessoal. Exemplo: por meio de cruzamento-teste.

### 3 Gregor Mendel

O fenômeno da hereditariedade sempre intrigou os seres humanos. Como explicar que casais de gansos dão sempre origem a gansos, e não originam patos ou outras aves? Por que os filhos são parecidos com os pais? Desde a Grécia Antiga até o século XIX, a ideia predominante era a de que, nos animais (inclusive no ser humano), o sêmen determinava a origem do novo organismo, sendo o corpo da mãe o provedor de espaço e nutrientes para o seu desenvolvimento.

No século XVII, com o surgimento dos microscópios, a imagem aumentada em 100 vezes do sêmen humano foi observada pela primeira vez, pelo holandês Anton van Leeuwenhoek, que pensou ver no interior do espermatozoide uma miniatura de ser humano. Tal registro confirmaria a ideia então vigente: a de que o ser humano seria um organismo pré-formado nos gametas masculinos (teoria da pré-formação).

No início do século XIX, com microscópios mais desenvolvidos, diversos cientistas fizeram observações da fecundação em diferentes espécies de animais, ficando comprovado que o embrião surge de uma célula, o zigoto, formada a partir da união do gameta masculino com o feminino. A comunidade científica abandonou a teoria da pré-formação e passou a investigar qual seria a explicação para a hereditariedade, ou seja, de que forma o gameta masculino e o feminino transmitem as “informações” para o desenvolvimento das características dos descendentes.

Um dos cientistas que se dedicou a esta questão foi Charles Darwin, autor da teoria da evolução das espécies por seleção natural. Ele chegou a imaginar que cada célula do corpo de um animal liberaria partículas que, fluindo para os órgãos genitais, estariam presentes nos gametas formados. Naquela mesma época, Mendel realizava seus testes com plantas de ervilha.

Mendel nasceu na região central da Europa, em uma família de agricultores. Como a única opção para um jovem pobre que quisesse seguir uma carreira científica era o ingresso em um mosteiro, ele se tornou monge. Foi no mosteiro que conduziu experimentos de cruzamentos em ervilhas, analisando mais de 28 mil plantas e 22 varie-

dades fenotípicas. Em 1865, apresentou seus resultados na Sociedade dos Naturalistas de Brno (Brünn), em um artigo intitulado “Experimentos sobre a hibridização de plantas”.

Mendel era admirador de Charles Darwin. Na biblioteca do mosteiro de Brünn está guardada uma cópia de *A origem das espécies*, com anotações feitas por Mendel. Por outro lado, não existe evidência de que Darwin sequer soubesse da existência de Mendel. O exemplar dos Anais da Sociedade de Naturalistas de Brünn que continha o artigo de Mendel foi encontrado na biblioteca de Darwin após a sua morte, mas as folhas duplas típicas das publicações antigas, que vinham fechadas e precisavam ser cortadas com uma espátula, não haviam sido abertas para leitura.

Eleito abade logo após a publicação de seu artigo, Mendel ficou ocupado com as tarefas administrativas do convento, o que interrompeu suas pesquisas. Viveu no mosteiro até sua morte, em 1884.

Ignorado em vida como cientista, Mendel sofreu ainda uma campanha de difamação após a redescoberta de seus trabalhos em 1900. Pesquisadores da época consideraram que os resultados descritos por ele eram “bons demais” para serem verdadeiros. Apenas alguns anos mais tarde surgiram provas definitivas de que os resultados de Mendel eram válidos e o mecanismo por ele proposto para explicá-los, correto. Mendel tornou-se conhecido, então, como o “pai da Genética”, a área da Biologia que estuda a hereditariedade.

Fonte: PENA, S. D. Mendel: o anti-herói. *Ciência Hoje on-line*, 9 de mar. de 2007. Disponível em: <<http://cienciahoje.uol.com.br/columnas/derivagenetica/mendel-o-anti-heroi>>. Acesso em: 16 fev. 2016.



▲ Selo postal lançado pelo Vaticano em homenagem a Mendel.

#### DEPOIS DA LEITURA...

Como a Primeira Lei de Mendel é atualmente explicada, em termos de cromossomos e alelos?

O par de fatores, que determina um caráter, corresponde ao par de alelos de um determinado loco gênico. Os alelos localizam-se em um par de cromossomos homólogos. Na formação dos gametas, cada um recebe apenas um cromossomo do par e, portanto, apenas um dos alelos. A combinação de alelos na fecundação pode levar à formação de híbridos (heterozigotos).



## Revendo e aplicando conceitos

1. Caule alto e aspecto liso da semente são características dominantes; cor verde e aspecto rugoso da semente são características recessivas.

1. Considere uma planta de ervilha que possua caule alto, com flores axilares que produziram frutos verdes e achatados. Essa planta nasceu de uma semente verde e lisa e que possuía flores brancas.

Das sete características referentes a essa planta, algumas são dominantes e outras recessivas. Indique-as.

2. Cruzando-se plantas que nasceram de ervilhas amarelas homozigóticas com plantas que nasceram de ervilhas amarelas heterozigóticas, quantos fenótipos e quantos genótipos diferentes devem ser esperados nas sementes produzidas por essas plantas? Quais são eles? 2. Um fenótipo (amarelo) e dois genótipos ( $VV$  e  $Vv$ ).
3. Dê o resultado, em fenótipos e genótipos, do cruzamento entre plantas que nasceram de ervilhas lisas heterozigóticas com plantas que nasceram de ervilhas rugosas. 3. 50% sementes lisas híbridas ( $Rr$ ) e 50% sementes rugosas, necessariamente homozigóticas ( $rr$ ).
4. Cruzando entre si plantas de *Mirabilis jalapa* (maravilha) produtoras de flores róseas, quais serão as cores das plantas resultantes? Com quais taxas? 4. 25% flores vermelhas; 50% róseas; 25% brancas. Veja quadro de Punnett no Manual. Tente dar uma resposta antes de verificar. Depois confirme, montando o quadro de Punnett com os possíveis cruzamentos.

Robert Dowling/  
Corbis/Latinstock



^ Galo andaluz.

5. Cruzando-se um gallo de penas pretas com uma galinha de penas brancas obtêm-se descendentes com penas mescladas de preto e branco: são as chamadas galinhas andaluzas.

a. Galinhas andaluzas constituem um exemplo de qual tipo de herança? Justifique sua resposta.

b. Qual é a taxa esperada de descendentes com penas brancas a partir do cruzamento de um gallo preto com uma galinha andaluza?

6. Na anomalia conhecida por acondroplasia, o fenótipo condicionado pelo alelo dominante é caracterizado por membros (braços e pernas) muito pequenos em relação ao tronco e à cabeça, de tamanhos normais. Em uma cidade com alta porcentagem de indivíduos com acondroplasia, observou-se que a descendência de casais em que os dois indivíduos são heterozigóticos sempre resultava na proporção de dois filhos com a anomalia para um de fenótipo normal (2:1).

5. a) Ausência de dominância, pois os híbridos possuem fenótipo mesclado.
5. b) A probabilidade é nula. Consulte o Manual.

Por que a proporção fenotípica observada não é a esperada, de acordo com a Primeira Lei de Mendel (3:1)? Elabore uma explicação. 6. Consulte o Manual.

7. Na condição conhecida como braquidactilia, as pessoas afetadas apresentam dedos das mãos muito curtos. Elas são portadoras do alelo dominante B. Os indivíduos homozigóticos dominantes morrem ao nascer. Responda e justifique as questões a seguir:

- a. A braquidactilia é um exemplo de que tipo particular de monohibridismo? 7. a) A braquidactilia é um caso de alelos letais, em que os indivíduos  $BB$  morrem ao nascer.
- b. Qual é o genótipo das pessoas que apresentam braquidactilia? 7. b) As pessoas com braquidactilia são, necessariamente, heterozigóticas ( $Bb$ ).

- c. Qual é o genótipo das pessoas que apresentam dedos de comprimento normal? 7. c) Homozigóticas recessivas:  $bb$ .

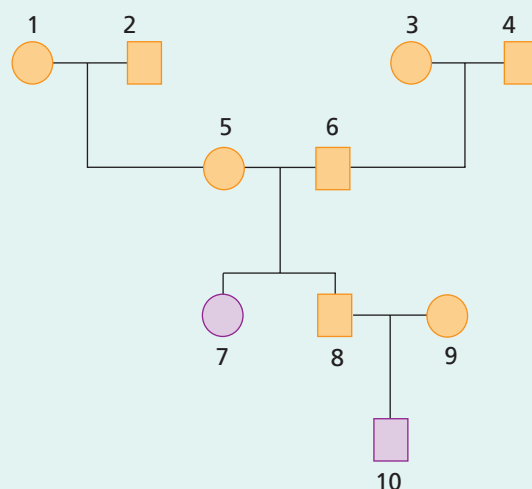
8. De acordo com a Primeira Lei de Mendel, um caráter é determinado por um par de fatores (alelos) que se separam de forma independente na formação dos gametas. Assim, no momento da fecundação, ocorre a combinação dos alelos carregados pelos gametas, gerando o genótipo do descendente.

- a. Qual é a proporção fenotípica esperada para cruzamentos entre dois indivíduos heterozigóticos para um determinado caráter? 8. a) 3 dominantes : 1 recessivo.

- b. Qual é a proporção genotípica esperada para o mesmo cruzamento? 8. b) 1 homozigótico dominante : 2 heterozigóticos : 1 homozigótico recessivo.

- c. Se houver ausência de dominância entre os alelos, qual será a proporção fenotípica esperada para o cruzamento entre dois indivíduos heterozigóticos?

9. Considere o heredograma a seguir, representando os padrões de herança para um determinado aspecto em uma família: a forma do lobo da "orelha" (pavilhão auricular). Os círculos representam as mulheres e os quadrados, os homens.



Maps World/Arquivo da editora

8. c) 1 : 2 : 1. O fenótipo intermediário ou mesclado apresenta 50% de chance de se manifestar.

10. a) São formados a partir de dois óvulos, cada um fecundado por um espermatozoide diferente. Assim, são dois indivíduos com patrimônios genéticos diferentes.

9. a) 7 e 10 são homozigóticos recessivos, pois possuem um caráter diferente do de seus pais.

Os indivíduos 7 e 10 apresentam uma característica diferente da dos outros membros da família: o lobo da "orelha" é preso (aderente), e não solto. Responda:

- Quais indivíduos são homozigóticos recessivos?
- Quais indivíduos são certamente heterozigóticos?
- O que se pode concluir a respeito da herança do caráter forma do lobo da orelha?

9. b) Consulte o Manual.

9. c) O lobo solto é caráter dominante e o lobo aderente é recessivo.

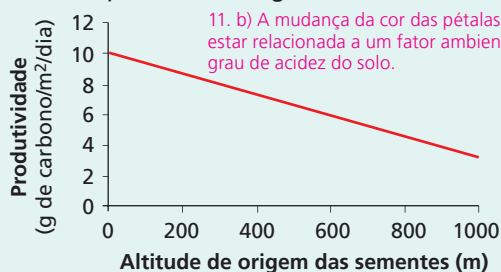
10. Relembre o que você estudou a respeito da formação de gêmeos; se necessário, consulte o volume 1 desta coleção. Explique:

- por que gêmeos fraternos ou bivitelinos sempre possuem fenótipos distintos.
- por que gêmeos idênticos ou univitelinos não são exatamente iguais, mesmo quando criados sob as mesmas condições.

10. b) O ambiente exerce influência sobre o fenótipo.

## Trabalhando com gráficos

11. (Adaptado de vestibular da UFRJ-2004) Um pesquisador observou que uma certa espécie de planta apresentava variação de produtividade relacionada à altitude onde a planta se desenvolvia. Em grandes altitudes, a produtividade era muito baixa; à medida que a altitude se aproximava do nível do mar, a produtividade aumentava. Ele, então, realizou um experimento: sementes dessa espécie, coletadas em diversas altitudes, foram plantadas ao nível do mar em condições ambientais idênticas. Após algum tempo, a produtividade dessas plantas foi medida e apresentou os seguintes resultados:



11. b) A mudança da cor das pétalas pode estar relacionada a um fator ambiental, o grau de acidez do solo.

a. A partir dos resultados, é possível afirmar se a produtividade da planta está relacionada ao seu genótipo ou às condições ambientais (altitude)? Justifique sua resposta. 11. a) A produtividade da planta está relacionada ao seu genótipo. Veja comentários no Manual.

b. Considere agora um outro caráter dessa planta: a cor das pétalas das flores. As flores vermelhas podem se tornar róseas e apresentar manchas brancas dependendo do grau de acidez do solo. Nesse caso, o que está determinando o fenótipo cor da flor?

11. b) Fator ambiental: o grau de acidez do solo.

c. Explique a relação entre fenótipo, genótipo e ambiente.

11. c) O fenótipo é determinado pela interação entre genótipo e condições ambientais em que ocorre o desenvolvimento do organismo.

12. b) Resposta pessoal. Exemplo: malformações devido à ingestão de medicamentos como a talidomida.

## Ciência, Tecnologia e Sociedade

12. Releia os textos "A galinha carijó ou pedrês", da seção *Curiosidade* (página 137), e "Genes, ambiente e evolução" (página 147). Em seguida, reúna-se com dois colegas e façam o que é proposto.

a. Consultando livros e sites de divulgação científica, descubram uma condição anormal congênita, na espécie humana, que seja determinada geneticamente, sem influência direta de fatores ambientais.

12. a) Resposta pessoal. Exemplo: fibrose cística. Veja comentários no Manual.

b. Descubram também uma condição anômala causada por fatores externos (substâncias tóxicas, radiação e outros) que afetam o desenvolvimento e alteram o fenótipo de um ser humano.

c. Expliquem por que as mulheres devem evitar o fumo (ativo ou passivo) e o consumo de álcool, drogas e certos medicamentos quando se pretende engravidar, ou durante a gestação. Como esses fatores podem influenciar no fenótipo de um indivíduo? Que atitudes favorecem o desenvolvimento saudável do feto? Qual é a importância dos exames pré-natais? Elaborem um cartaz ou um panfleto usando essas informações, com o objetivo de alertar as pessoas de sua comunidade.

12. c) Resposta pessoal. Veja informações no Manual.

## Questões do Enem e de vestibulares

13. (UERJ) Num experimento, foram comparadas as características genóticas e fenóticas de células retiradas de um tecido de anfíbio, ainda no estágio de girino, com as de células de tecido similar do mesmo indivíduo após atingir a idade adulta. Explique por que, entre essas células:

a. as características genóticas são iguais;

13. a) As células possuem patrimônio genético idêntico.

b. as características fenóticas são diferentes.

14. 1/6. Consulte o Manual

14. (UFRJ) Alguns centros de pesquisa na Inglaterra estão realizando um programa de triagem populacional para detectar a fibrose cística, uma doença autosômica recessiva grave particularmente comum em caucasianos. Toda pessoa na qual o alelo recessivo é detectado recebe orientação a respeito dos riscos de vir a ter um descendente com a anomalia. Um inglês heterozigótico para essa característica é casado com uma mulher normal, filha de pais normais, mas cujo irmão morreu na infância, vítima de fibrose cística.

Calcule a probabilidade de que esse casal venha a ter uma criança com fibrose cística. Justifique sua resposta.

13. b) Durante a diferenciação celular que ocorre no desenvolvimento, determinados genes podem ser ativados ou inativados, resultando caracteres diferentes.

15. (Enem-2015) A fenilcetonúria é uma doença hereditária autossômica recessiva, associada à mutação do gene PAH, que limita a metabolização do aminoácido fenilalanina. Por isso, é obrigatório, por lei, que as embalagens de alimentos, como refrigerantes dietéticos, informem a presença de fenilalanina em sua composição. Uma mulher portadora de mutação para o gene PAH tem três filhos normais, com um homem normal, cujo pai sofria de fenilcetonúria, devido à mesma mutação no gene PAH encontrada em um dos alelos da mulher.

Qual a probabilidade de a quarta criança gerada por esses pais apresentar fenilcetonúria?

- a. 0%                      d. 50%  
b. 12,5%                  e. 75%

15. c. 25%

16. (Fuvest-SP) Em plantas de ervilha ocorre autofecundação. Para estudar os mecanismos de herança, Mendel fez fecundações cruzadas, removendo as anteras da flor de uma planta homozigótica de alta estatura, e colocando sobre o seu estigma pólen recolhido da flor de uma planta homozigótica de baixa estatura. Com esse procedimento, Mendel:

a. impediu o amadurecimento dos gametas femininos.

b. trouxe gametas femininos com alelo para baixa estatura.

16. c. trouxe gametas masculinos com alelo para baixa estatura.

d. promoveu o encontro dos gametas com os mesmos alelos para estatura.

e. impediu o encontro de gametas com alelos diferentes.

17. (UERJ) Em rabanetes, a forma da raiz é determinada por um par de genes alelos. Os fenótipos formados são três: arredondado, ovalado e alongado. Cruzamentos entre plantas de raízes alongadas com plantas de raízes arredondadas produziram apenas indivíduos com raízes ovaladas.

Em cruzamentos desses indivíduos ovalados entre si, foram obtidas 400 sementes que foram plantadas em sementeiras individuais. Antes que as sementes germinassem, as sementeiras foram distribuídas a diversas pessoas; você recebeu uma delas.

- a. Qual a relação de dominância entre os caracteres em questão?

17. a) Herança intermediária entre os alelos que condicionam, a forma da raiz. RR: raiz arredondada; LL: raiz alongada; RL: raiz ovalada.

18. b) Parentais: Bb x Bb. Descendentes: BB (letal), Bb (fenótipo Manx) e bb (fenótipo normal).

- b. Qual a probabilidade de que, na sua sementeira, venha a se desenvolver um rabanete de raiz ovalada? Justifique sua resposta. 17. b) 50%. Consulte o Manual.

18. (Unicamp-SP) Gatos Manx são heterozigotos para uma mutação que resulta na ausência de cauda (ou cauda muito curta), presença de pernas traseiras grandes e um andar diferente dos outros. O cruzamento de dois gatos Manx produziu dois gatinhos Manx para cada gatinho normal de cauda longa (2:1), em vez de três para um (3:1), como seria esperado pela genética mendeliana.

- a. Qual a explicação para esse resultado?

18. a) O alelo B é letal quando em homozigose.

- b. Dê os genótipos dos parentais e dos descendentes. (Utilize as letras B e b para as suas respostas.)

19. (Unesp) Nova esperança contra a anemia falciforme  
*A anemia falciforme é uma doença genética na qual a hemoglobina A, que é produzida pelo organismo após o nascimento, tem sua estrutura alterada, comprometendo sua função no transporte de oxigênio. A cura só é possível por meio do transplante de medula óssea, um procedimento pouco realizado devido à dificuldade de encontrar doadores compatíveis. A esperança vem da Faculdade de Ciências Farmacêuticas da UNESP de Araraquara, onde um grupo de pesquisadores está desenvolvendo um novo medicamento que aumenta a taxa de hemoglobina fetal na corrente sanguínea. A hemoglobina fetal não tem sua estrutura alterada, e poderia suprir as necessidades do paciente no transporte de oxigênio, contudo só é produzida em abundância pelo organismo na idade fetal. O novo medicamento induz sua produção pelo organismo, sem os efeitos colaterais de outros medicamentos já existentes.*

(Jornal da UNESP, abril de 2010. Adaptado.)

A reportagem foi lida em sala de aula, e dois alunos, Marcos e Paulo, deram suas interpretações. Segundo Marcos, o novo medicamento, além de promover a cura do paciente, permitira que as pessoas portadoras de anemia falciforme tenham filhos normais, ou seja, a doença, até então transmitida hereditariamente, deixará de sê-lo. Paulo discordou de Marcos e afirmou que a única possibilidade de cura continua sendo o transplante de medula óssea, situação na qual o indivíduo que recebeu o transplante, além de se apresentar curado, não corre o risco de ter filhos portadores da anemia.

Qual interpretação está errada, a de Marcos, a de Paulo, ambas, ou ambas as interpretações estão corretas? Justifique sua resposta.

19. Ambos fizeram interpretações incorretas. Os tratamentos mencionados não alteram a informação genética transmitida de pais para filhos.



6 possibilidades. O aluno poderá verificar sua resposta ao prosseguir a leitura.

COMENTÁRIOS  
GERAIS



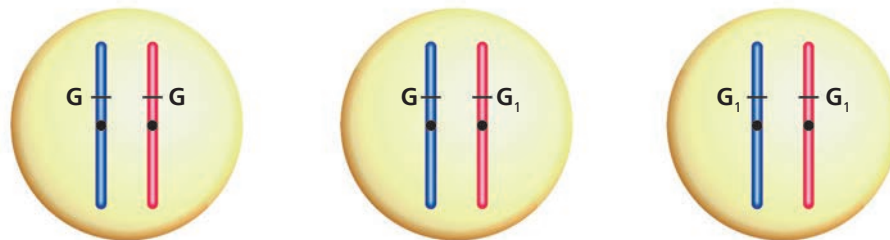
PENSE E  
RESPONDA

Sendo três os alelos para um mesmo loco, quantos pares diferentes podem ser formados? Em outras palavras, quais são as combinações possíveis, dois a dois?

## 1 Conceitos básicos

Até agora, consideramos casos de herança genética em que apenas um par de alelos é responsável pela determinação de uma característica, estando um alelo localizado em um cromossomo e o outro no cromossomo homólogo. Assim, para cada loco gênico existem apenas dois alelos possíveis. Como os cromossomos homólogos formam pares, se chamarmos esses alelos de  $G$  e  $G_1$ , podem, então, ocorrer três combinações genóticas:  $G - G$ ;  $G - G_1$ ;  $G_1 - G_1$ .

### Possibilidades genóticas para os alelos hipotéticos $G$ e $G_1$



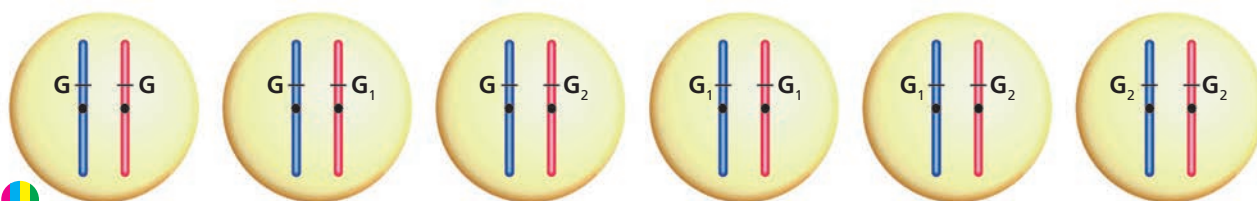
Mas será que sempre existem apenas dois alelos para cada loco?

Não, nem sempre é assim. Podem existir mais do que dois, dependendo do caráter considerado. Imaginemos que existam três alelos para um determinado loco gênico de um par de cromossomos homólogos: alelos  $G$ ,  $G_1$  e  $G_2$ .

Os três alelos não podem ocorrer em uma mesma célula diploide, pois ela possui pares (e não trios) de cromossomos homólogos. Assim, em uma célula diploide só podem existir dois alelos para cada loco, sendo um em cada cromossomo homólogo.

Você deve ter concluído que, para três alelos, existem seis possibilidades de genótipos, que estão representadas no esquema a seguir. Observe que, embora sejam seis as possibilidades genóticas, somente uma delas poderá ocorrer nas células de um indivíduo diploide.

### Possibilidades genóticas para os alelos hipotéticos $G$ , $G_1$ e $G_2$



Esquema simplificado mostrando combinações possíveis para três alelos ( $G$ ,  $G_1$  e  $G_2$ ) de um loco gênico hipotético.

Quando há mais de dois alelos para um mesmo loco gênico, fala-se em **polialelia**, ou **alelos múltiplos**.

Lembre-se de que, embora existam mais de dois alelos para um mesmo loco, eles somente podem ocorrer dois a dois, ou seja, aos pares. A expressão do fenótipo relacionado ao loco gênico dependerá, neste caso, da relação entre os dois alelos herdados pela célula: dominância ou ausência de dominância.

Estudaremos dois exemplos de herança determinada por polialelia: a cor de pelos em coelhos e a transmissão dos grupos sanguíneos humanos, do sistema ABO. Vamos analisar esses casos a seguir.

## 2 Herança da cor da pelagem em coelhos

Coelhos podem apresentar quatro fenótipos, quanto à cor dos pelos: aguti ou selvagem, chinchila, himalaia e albino. Confira o aspecto desses padrões de cor nas fotos ao lado; o coelho adulto mede cerca de 40 cm de comprimento.

O fenótipo **aguti** ou selvagem é condicionado pelo alelo  $c^+$ , que é dominante em relação aos alelos que condicionam os outros três fenótipos.

A pelagem **chinchila** é condicionada pelo alelo  $c^{ch}$ , que é recessivo em relação ao  $c^+$ , mas dominante em relação aos alelos que condicionam os outros dois fenótipos.

O fenótipo **himalaia** é condicionado pelo alelo  $c^h$ , recessivo em relação ao  $c^+$  e ao  $c^{ch}$ , mas dominante em relação ao alelo  $c$ , que condiciona o fenótipo albino.

Por fim, temos a pelagem **albina**, condicionada pelo alelo  $c$ , que é recessivo em relação aos alelos que condicionam os outros três fenótipos.

Observação: as notações dos alelos podem variar; você pode encontrar notações um pouco diferentes das utilizadas neste texto. Alguns autores ou questões de vestibular utilizam  $C$  para representar o alelo selvagem, em vez de  $c^+$ . Esteja atento, pois isso acontece com frequência.

Assim, para compreender a relação entre fenótipo e genótipo na determinação da cor de pelos em coelhos, é preciso saber a ordem de dominância desses alelos entre si.

O alelo aguti ( $c^+$ ) domina todos, albino ( $c$ ) é recessivo em relação a todos e chinchila ( $c^{ch}$ ) é dominante em relação a himalaia ( $c^h$ ). A ordem de dominância fica, então:

$$c^+ > c^{ch} > c^h > c$$

São dez possibilidades de combinação entre esses quatro alelos, formando pares. Confira no quadro a seguir.

Cor da pelagem em coelhos				
Fenótipos	Genótipos			
Aguti (selvagem)	$c^+ c^+$	$c^+ c^{ch}$	$c^+ c^h$	$c^+ c$
Chinchila	$c^{ch} c^{ch}$	$c^{ch} c^h$	$c^{ch} c$	
Himalaia	$c^h c^h$	$c^h c$		
Albino	$cc$			



### PENSE E RESPONDA

Consulte o glossário etimológico e anote, em seu caderno, o significado da palavra **polialelia**.

Muitos, diversos (*poli*) alelos.



Coelho com pelagem **aguti**.



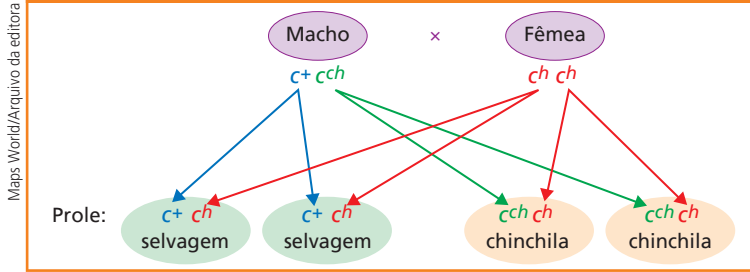
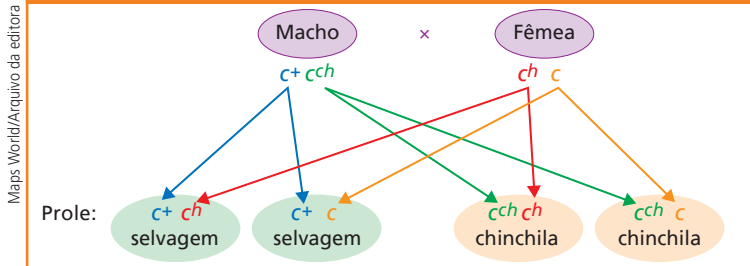
Coelho com pelagem **chinchila**.



Coelho com pelagem **himalaia**.



Coelho **albino**.

**Cruzamento entre coelho macho aguti e fêmea himalaia homozigótica****Cruzamento entre coelho macho aguti e fêmea himalaia heterozigótica**

Qual é o genótipo de um coelho macho com pelagem selvagem (aguti), capaz de originar filhotes selvagens e chinchilas ao cruzar com uma fêmea himalaia? Por ter pelos no padrão selvagem, o macho tem, necessariamente, pelo menos um alelo  $c^+$ , mas não poderia ser homozigótico, pois, nesse caso, 100% dos descendentes seriam selvagens. Seu outro alelo tem que ser  $c^{ch}$ , pois essa é a única possibilidade de nascerem chinchilas ( $c^{ch} c^{ch}$ ), uma vez que a fêmea, sendo himalaia ( $ch ch$  ou  $c^{ch} c$ ), não pode ter esse alelo.

Assim, concluímos que o genótipo do macho é  $c^+ c^{ch}$ . E quanto ao genótipo da fêmea himalaia? As duas possibilidades ( $ch ch$  ou  $c^{ch} c$ ) resultam proporção fenotípica, para os descendentes, de um selvagem para um chinchila. Cada coelho, macho ou fêmea, possui dois alelos para cor da pelagem porque suas células apresentam um par de cromossomos homólogos.

Esquemas representando dois cruzamentos que resultaram na mesma proporção fenotípica (50% de filhotes selvagens e 50% de filhotes chinchilas).

Veja comentários sobre coelhos himalaia no Manual.

**A pelagem de coelhos e lebres**

Há outros genes envolvidos na determinação genética da pelagem de coelhos, além do gene com quatro alelos que comentamos aqui, que determinam a quantidade de pigmento produzida nas células da pele e presentes nos pelos. Existe um loco gênico, por exemplo, que condiciona o padrão dos pelos: de uma única cor ou com mais de uma cor no mesmo pelo. Há outro loco determinante do aparecimento de manchas brancas na pelagem. A pelagem de um coelho é, portanto, resultante da interação entre diversos genes.

A pelagem de coelhos e lebres é também influenciada por fatores externos. A lebre-americana (*Lepus americanus*) é um exemplo interessante. A espécie é nativa da região Norte dos Estados Unidos e do Canadá e a cor dos pelos das lebres é diferente no verão (pelagem parda) e no inverno (pelagem branca). Pesquisadores possuem evidências de que a produção de pelos de cores distintas é um processo determinado geneticamente, ativado pela duração relativa entre o dia e a noite. Como no inverno as noites são mais longas do que os dias, esse pode ser o "gatilho" que ativa a produção de pelos brancos.

Estudos com populações de lebre-americana indicaram a presença de animais com pelos brancos antes do inverno e, portanto, antes da chegada da neve, onde estariam camuflados e protegidos de predadores. Os cientistas estão investigando se essa falta de sincronia seria consequência do aquecimento global.



Lebre-americana: pelagem de verão.



Lebre-americana: pelagem de inverno.

Fonte: MARRIS, E. Can snowshoe hares evolve to cope with climate change? *National Geographic*, 17 jul. 2014. Disponível em: <<http://news.nationalgeographic.com/news/2014/07/140717-snowshoe-hares-climate-change-environment-animals-science/>>. Acesso em: 10 mar. 2016.

**Primeira Lei de Mendel**

<<http://www.planetabio.com/lei1.html>>

Com este infográfico interativo, você pode simular cruzamentos e verificar o que aprendeu sobre a Primeira Lei de Mendel, a co-dominância, os alelos letais e a polialelia. Acesso em: 9 mar. 2016.



### 3 Herança dos grupos sanguíneos do sistema ABO

A presença ou ausência de determinadas proteínas nas hemácias permite classificar os indivíduos da espécie humana em grupos sanguíneos. Você conheceu um desses grupos no capítulo anterior: o sistema Rh, que é um caso de monohibridismo, cuja transmissão ocorre de acordo com a Primeira Lei de Mendel.

Outro sistema sanguíneo, cujo conhecimento também é de grande importância para a medicina, é o **sistema ABO**, cuja transmissão é condicionada por três alelos de um mesmo loco gênico, constituindo, portanto, um caso de polialelia.

De acordo com esse sistema, as pessoas são distribuídas por quatro grupos sanguíneos, denominados **A, B, AB e O**.

Essa classificação baseia-se na presença ou ausência, na membrana plasmática das hemácias, de duas proteínas, conhecidas como **A e B**. Nas hemácias de um mesmo indivíduo podem ocorrer as proteínas desses dois tipos, apenas de um ou não ocorrer nenhuma delas.

Dizer que um indivíduo pertence ao grupo sanguíneo **A, B, AB** ou **O** significa dizer que ele possui em suas hemácias, respectivamente, a proteína **A**, a proteína **B**, as duas (**A e B**) ou que não possui nenhuma das duas.

Os quatro grupos possíveis estão colocados de forma esquemática no quadro a seguir.

Proteínas nas hemácias	Grupo sanguíneo
possui <b>A</b> ; não possui <b>B</b>	<b>A</b>
possui <b>B</b> ; não possui <b>A</b>	<b>B</b>
possui <b>A e B</b>	<b>AB</b>
não possui <b>A nem B</b>	<b>O</b>

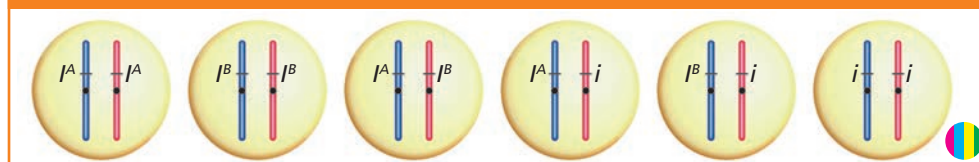
Determinar o grupo sanguíneo a que pertence um indivíduo implica pesquisar a presença das proteínas **A e B** em suas hemácias. Não há qualquer diferença visual entre os diferentes tipos de sangue, a olho nu ou ao microscópio. A análise do grupo sanguíneo, da qual falaremos mais adiante, é feita por meio de substâncias que indicam a presença de uma ou ambas as proteínas nas hemácias.

Antes de aprender como é feita a pesquisa dessas proteínas no sangue para a determinação do grupo sanguíneo, vamos compreender como é a herança dos grupos sanguíneos de pais para filhos.

A presença da proteína **A** é condicionada por um alelo, que chamaremos de  $I^A$ ; a produção da proteína **B** é condicionada pelo alelo que chamaremos de  $I^B$ ; a não produção dessas proteínas, **A** ou **B**, é condicionada à presença de um alelo, aqui chamado de  $i$ .

As pessoas possuem apenas dois desses alelos em suas células somáticas, localizados em um par de cromossomos homólogos. Os alelos podem ser iguais ou não. Podem ocorrer, então, seis possibilidades diferentes, que você pode observar na representação seguinte.

#### Possibilidades genotípicas no sistema ABO

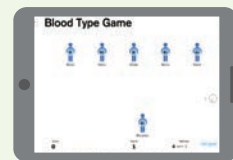


Luis Moura/Arquivo da editora



MULTIMÍDIA

#### Jogo do tipo sanguíneo



Reprodução

< <http://www.redcrossblood.org/donating-blood/donor-zone/games/blood-type> >

Para este jogo, disponível em um site em inglês, você deve escolher e clicar, entre algumas opções, no doador (*donor*) capaz de salvar a vida do paciente receptor (*recipient*), com base no tipo sanguíneo adequado. Jogue várias vezes, percebendo quais combinações entre tipos sanguíneos são bem-sucedidas e quais não dão certo.

Acesso em: 24 mar. 2016.

O jogo proposto em *Multimídia* pode ser aplicado antes do estudo da herança dos tipos sanguíneos ABO e das possibilidades de transfusão (página 159 do livro). Desse modo, os alunos poderão perceber que certas combinações não podem ser feitas, que o tipo sanguíneo O pode ser doado a qualquer pessoa, que a transfusão independe do sexo do doador e do receptor. Quando o jogador acerta, aparece na tela do jogo "a match!" (uma combinação certa) e quando a escolha é incorreta aparece a mensagem "not a match" (não combinam).

< As barras coloridas representam os cromossomos homólogos nos quais os alelos se localizam.


**PENSE E RESPONDA**

Resolva em seu caderno:

- Qual é o resultado fenotípico e genotípico para os filhos de um homem homozigótico de genótipo  $I^A I^A$  e de uma mulher também homozigótica, mas de genótipo  $ii$ ?
- Qual seria a proporção esperada para os grupos sanguíneos nos filhos gerados por uma mulher e um homem, ambos do grupo **AB**?

O aluno poderá verificar as respostas prosseguindo a leitura do texto.

Os indivíduos homozigóticos de genótipo  $I^A I^A$  têm os dois alelos condicionando a produção da proteína **A**. Assim, eles pertencem ao grupo sanguíneo **A**. Pelo mesmo raciocínio, podemos afirmar que os indivíduos homozigóticos de genótipo  $I^B I^B$  pertencem ao grupo **B** e que os indivíduos de genótipo  $ii$  pertencem ao grupo **O**.

Os indivíduos heterozigóticos, no entanto, podem ser dos grupos **A**, **B** ou **AB**, dependendo da relação de dominância entre os alelos. O alelo  $i$  é recessivo em relação aos demais. Assim, os genótipos  $I^A i$  e  $I^B i$  determinam, respectivamente, os fenótipos de grupo sanguíneo **A** e **B**. Já a relação entre os alelos  $I^A$  e  $I^B$  é de codominância e, quando presentes no genótipo, o fenótipo é **AB**.

Resolva a atividade proposta em *Pense e responda*, ao lado, e depois compare sua resolução com as explicações a seguir.

Considerando um homem homozigótico do grupo sanguíneo **A** ( $I^A I^A$ ) que tem filhos com uma mulher homozigótica do grupo **O** ( $ii$ ), qual (ou quais) deve(m) ser o(s) grupo(s) sanguíneo(s) dos filhos?

O homem produzirá espermatozoides portando o alelo  $I^A$ , enquanto a mulher produzirá óvulos com o alelo  $i$ . Veja o resultado do genótipo dos filhos:

Gametas	$I^A$
$i$	$I^A i$ (grupo <b>A</b> )

Todos os descendentes serão do grupo sanguíneo **A** e terão genótipo  $I^A i$ .

E quais seriam os possíveis genótipos dos descendentes de um casal em que ambos pertencem ao grupo **AB**?

Como o pai e a mãe pertencem ao grupo **AB**, ambos possuem genótipo  $I^A I^B$ . Cada um pode formar gametas portadores do alelo  $I^A$  e gametas portadores do alelo  $I^B$ . Verifique as possibilidades genotípicas para os descendentes:

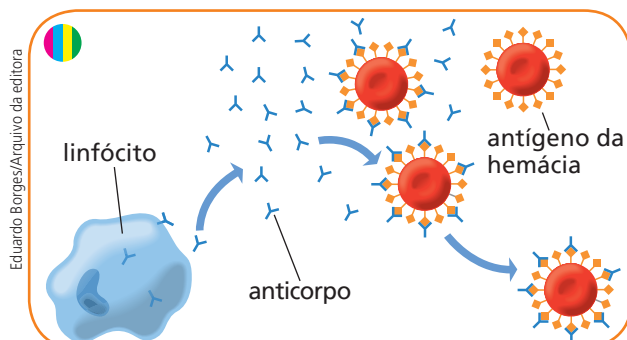
Gametas	$I^A$	$I^B$
$I^A$	$I^A I^A$	$I^A I^B$
$I^B$	$I^A I^B$	$I^B I^B$

Como mostra o quadro, os alelos existentes nos híbridos ( $I^A I^B$ ) manifestam-se na geração seguinte em proporções definidas: 25% pertencem ao grupo **A** (genótipo  $I^A I^A$ ), 25% ao grupo **B** (genótipo  $I^B I^B$ ) e 50% são heterozigóticos, como os pais, pertencendo ao grupo **AB** (genótipo  $I^A I^B$ ).

### 3.1 Determinação do grupo sanguíneo (ABO)

A determinação do grupo sanguíneo a que uma pessoa pertence é feita pela pesquisa da presença das proteínas **A** e **B** em suas hemácias. Essa pesquisa é realizada em laboratórios especializados e baseia-se na reação de aglutinação que ocorre com um antígeno por ação de um anticorpo.

Quando uma substância estranha é introduzida por via parenteral em um organismo, ocorre uma reação de defesa característica: o organismo produz, caso ainda não possua, uma proteína que reagirá especificamente com essa substância. A substância estranha introduzida no organismo é denominada **antígeno** e a proteína que reage com ela, produzida por células do sistema imunitário, é o **anticorpo**.



As figuras estão representadas em escalas diferentes.

- ✓ Esquema ilustrando a ação de **anticorpos** específicos para um tipo de antígeno presente na membrana de hemácias. Os anticorpos são produzidos por linfócitos.

No caso dos grupos sanguíneos, a reação que ocorre entre antígeno e anticorpo é uma reação de **aglutinação**: as hemácias portadoras dos antígenos são aglutinadas, amontoadas, formando grumos, por ação dos anticorpos que estão no plasma sanguíneo.

Em casos como esse, em que a reação é de aglutinação, os antígenos são chamados **aglutinogênios** e os anticorpos são as **aglutininas**.

Dessa forma, as proteínas **A** e **B** presentes nas hemácias, quando introduzidas em indivíduos que não as possuem, funcionam como antígenos do grupo dos aglutinogênios, e os anticorpos do plasma que reagem com elas são aglutininas.

A aglutinina que reage com o antígeno **A** tem o nome de **anti-A** e a aglutinina que reage com o antígeno **B** é chamada **anti-B**. As aglutininas **anti-A** e **anti-B** são anticorpos naturais, pois já existem no plasma sanguíneo mesmo que o indivíduo não tenha recebido o antígeno específico em seu sangue.

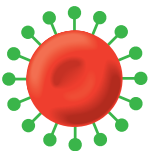

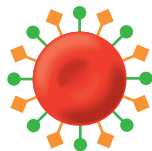







Assim, uma pessoa portadora do antígeno **A** em suas hemácias tem em seu plasma sanguíneo o anticorpo **anti-B**. Não é possível que um antígeno e seu anticorpo correspondente, como **A** e **anti-A**, coexistam no mesmo sangue, pois aconteceria a reação de aglutinação.

Da mesma forma que os indivíduos do grupo **A** possuem anticorpos **anti-B**, os do grupo **B** possuem anticorpos **anti-A**.

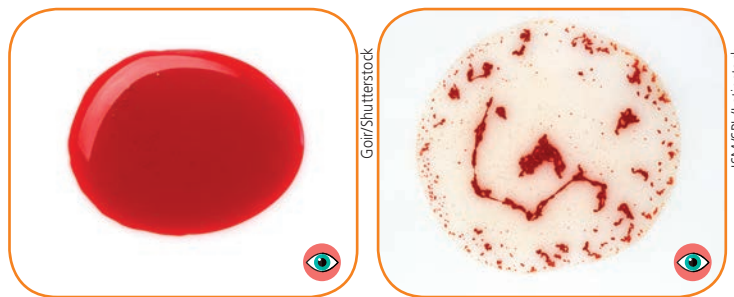
E os indivíduos dos grupos **AB** e **O**, que anticorpos possuem?

Indivíduos do grupo **AB** não possuem **anti-A** nem **anti-B**, pois apresentam os dois aglutinogênios em suas hemácias. A presença de um desses dois anticorpos causaria aglutinação, prejudicando o indivíduo. As pessoas do grupo **O** possuem os dois anticorpos – **anti-A** e **anti-B** – em seu sangue.


Observe, então, o quadro a seguir, que mostra os grupos sanguíneos do sistema **ABO**, com os aglutinogênios (antígenos) e as aglutininas (anticorpos) que possuem.

Grupo sanguíneo	A	B	AB	O
Hemácia				
Antígenos (aglutinogênios)	 Antígeno A	 Antígeno B	 Antígenos A e B	Nenhum
Anticorpos no plasma (aglutininas)	 Anti-B	 Anti-A	Nenhum	 Anti-A e Anti-B

Eduardo Borges/Arquivo da editora






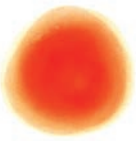
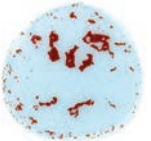
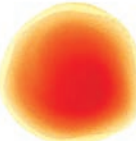
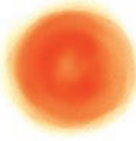
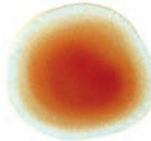
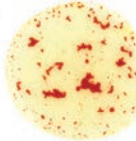

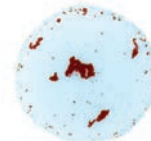
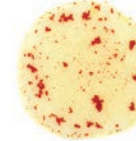

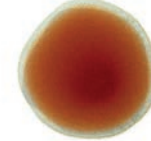
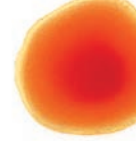
^ Uma gota de sangue, a olho nu, possui cor vermelha e aspecto homogêneo (à esquerda). A foto da direita mostra uma gota de sangue em que houve a reação de **aglutinação**. O sangue aglutinado não desempenha suas funções normais no corpo.

^  Representação esquemática dos **grupos sanguíneos do ser humano**, com base nas aglutininas e nos aglutinogênios presentes. As figuras estão fora de escala, pois as proteínas (aglutininas e aglutinogênios) são muito menores do que uma célula. A hemácia mede cerca de 7 µm de diâmetro.



A determinação do grupo sanguíneo é feita com a utilização de preparados de soros contendo anticorpos (aglutininas) **anti-A** e soros contendo anticorpos **anti-B**. Veja, abaixo, os resultados possíveis, mostrados em fotografias de gotas de sangue.

Imagens: ISM/SP/Latinstock

Sangue antes do teste 	Anti-A 	Anti-B 	Descrição do resultado
			A aglutinação ocorre somente onde há <b>anti-A</b> , significando que o sangue contém antígeno <b>A</b> , mas não contém antígeno <b>B</b> . O indivíduo pertence, então, ao grupo <b>A</b> .
			A aglutinação ocorre somente onde há <b>anti-B</b> : o sangue contém antígeno <b>B</b> , mas não contém antígeno <b>A</b> . A pessoa é, portanto, do grupo <b>B</b> .
			Ocorre aglutinação nas duas extremidades da lâmina: a pessoa é do grupo <b>AB</b> , pois apresenta os dois antígenos, <b>A</b> e <b>B</b> , no sangue.
			Não ocorre aglutinação em nenhuma das duas extremidades da lâmina: a pessoa é do grupo <b>O</b> , pois não possui antígeno <b>A</b> nem antígeno <b>B</b> .





### 3.2 Determinação do fator Rh

A determinação do fator **Rh**, que também só deve ser realizada em laboratórios especializados e autorizados, segue os mesmos princípios da determinação dos grupos do sistema **ABO**.

Considerando o sistema **Rh**, o antígeno **fator Rh** está presente nas hemácias das pessoas **Rh positivo**. Esse antígeno não ocorre nas hemácias das pessoas **Rh negativo**.

O anticorpo que reage com o fator **Rh** é a aglutinina **anti-Rh**, que não ocorre naturalmente no sangue. Ela somente é produzida quando a pessoa **Rh negativo** recebe sangue de uma pessoa **Rh positivo**.

São dois os resultados possíveis, ilustrados a seguir.

anti-Rh  Sangue + Aglutinina  (houve aglutinação)	A aglutinina (anticorpo) <b>anti-Rh</b> aglutina as hemácias do sangue examinado: o indivíduo é <b>Rh<sup>+</sup> (Rh positivo)</b> .
anti-Rh  Sangue + Aglutinina  (não houve aglutinação)	Não ocorre aglutinação, permanecendo a mistura homogênea: o indivíduo é <b>Rh<sup>-</sup> (Rh negativo)</b> .

Luis Moura/Arquivo da editora

## 4 Transfusão de sangue

O conhecimento dos grupos sanguíneos é particularmente importante para as **transfusões de sangue**, pois deve haver compatibilidade entre o anticorpo presente no plasma e o antígeno presente nas hemácias do receptor, de forma que não ocorra a aglutinação.

Se houvesse, por exemplo, a transfusão de sangue de um indivíduo do grupo **A** para um indivíduo do grupo **B**, ocorreria aglutinação do sangue doado, por ação da aglutinina **anti-A**, presente no plasma do receptor.

Para saber se uma transfusão é possível, basta, em princípio, verificar se os antígenos presentes nas hemácias do doador são compatíveis com os anticorpos presentes no plasma do receptor. Se houver compatibilidade, a doação é possível, dentro de certos limites, pois o ideal é a transfusão entre os mesmos tipos sanguíneos.

Assim, pode-se montar um esquema para uma visualização rápida dessas possibilidades de transfusão sanguínea, que você vê ao lado.

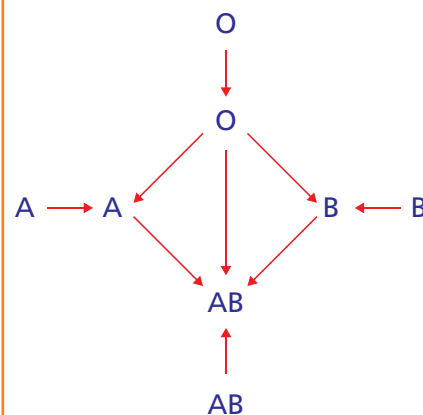
De acordo com esse esquema, os indivíduos do grupo **O** podem *doar* sangue para todos os grupos, enquanto os indivíduos do grupo **AB** podem *receber* sangue de todos os grupos.

Como podem doar sangue para todos os grupos, os indivíduos do grupo **O** são considerados *doadores universais*. Podendo receber sangue de todos os grupos, os indivíduos do grupo **AB** são chamados de *receptores universais*. No entanto, o ideal é que a transfusão seja feita entre pessoas do mesmo grupo, devendo-se levar em conta também o sistema **Rh** e outros sistemas de classificação de grupos sanguíneos.

Normalmente, em uma transfusão incompatível, as hemácias do doador são aglutinadas no corpo do receptor pela ação dos anticorpos presentes no plasma. No entanto, pode ocorrer o inverso: as hemácias do indivíduo receptor serem aglutinadas por ação dos anticorpos presentes no plasma do doador. Essa possibilidade invalida os conceitos de doador e receptor universais, principalmente para transfusões de quantidades relativamente grandes de sangue ou em indivíduos que necessitam de transfusões frequentes.

O **fator Rh** também precisa ser considerado em uma transfusão de sangue. Como uma pessoa **Rh<sup>+</sup>** possui o antígeno **Rh**, ela pode doar para outra pessoa que também o possua, ou seja, para outra **Rh<sup>+</sup>**. Já um indivíduo **Rh<sup>-</sup>** pode doar tanto para **Rh<sup>+</sup>** quanto para **Rh<sup>-</sup>**, pois ele não possui o antígeno **Rh** e não provocará a produção e ativação de anticorpos **anti-Rh**.

### Possibilidades de transfusão sanguínea



Esquema mostrando possibilidades de transfusão de sangue no sistema **ABO**. As setas estão voltadas para o tipo sanguíneo do receptor.



Bolsas de sangue para transfusão.



### REÚNA-SE COM OS COLEGAS

Busquem informações a respeito dos cuidados realizados na coleta, na triagem e no armazenamento de sangue destinado a transfusões. Procurem saber, também, qual é o hemocentro mais próximo de sua cidade e qual é a situação atual quanto ao número de doações e a demanda por sangue nos hospitais da região. Com os dados coletados, pensem juntos sobre o que poderia ser feito para aumentar o número de doadores de sangue e elaborem uma campanha de incentivo em sua comunidade.



Uma boa fonte de consulta é o site do Instituto Nacional do Câncer José de Alencar Gomes da Silva, disponível em: <[http://www.inca.gov.br/conteudo\\_view.asp?ID=119](http://www.inca.gov.br/conteudo_view.asp?ID=119)>. O Portal da Saúde também oferece informações e a lista dos hemocentros no Brasil; disponível em: <<http://portalsaude.saude.gov.br/index.php/cidadao/principal/agencia-saude/13355-ministerio-da-saude-lanca-nova-campanha-de-doacao-de-sangue>>. Acessos em: 10 mar. 2016.



## Notação de alelos

A notação utilizada para representar os alelos de um gene varia bastante de acordo com a fonte de referência. Cada alelo pode ser representado por uma, duas ou até três letras. O alelo que condiciona a cor verde de sementes de ervilha, por exemplo, pode ser representado pela letra  $v$ ; o alelo que condiciona a pelagem chinchila em coelhos é representado como  $c^{ch}$ .

Geralmente, utilizamos letra maiúscula e minúscula para representar a relação de dominância e recessividade; nos casos de ausência de dominância, é utilizada outra notação,

como no caso dos genes  $I^A$ ,  $I^B$  e  $i$ , do sistema sanguíneo **ABO**.

Optamos, neste livro, por essa simbologia para os alelos que condicionam o sistema **ABO**, que é a mais usual. A letra  $I$  foi escolhida devido ao fato de ocorrer isoaglutinação, ou seja, uma aglutinação do sangue quando é feita transfusão entre indivíduos da mesma espécie.

É interessante você se familiarizar com essa notação, pois ela é a mais amplamente utilizada. No entanto, é possível encontrar variações, em outros livros e em questões de vestibulares.

## Penetrância e expressividade

Nos casos de herança genética que analisamos até agora, consideramos que um genótipo corresponde a um determinado fenótipo. Vimos, por exemplo, que os genótipos  $RR$  e  $Rr$  condicionam o aspecto rugoso das sementes de ervilha, que o genótipo  $cc$  condiciona o albinismo em coelhos e que cada tipo sanguíneo do sistema **ABO** corresponde a um genótipo.

Para algumas características, no entanto, isso não acontece. São os casos de penetrância incompleta, em que um genótipo nem sempre resulta o fenótipo esperado, ou seja, aquele manifestado pela maioria dos portadores daquele genótipo.

Um exemplo de penetrância incompleta ocorre na herança da polidactilia em seres humanos. A polidactilia, como você já sabe, é determinada por alelo dominante e condiciona a formação de um ou mais dedos extras, na mão ou no pé.

Diversas pessoas possuem o alelo que condiciona polidactilia, na condição heterozigótica, e não possuem dedo extra. Nesse caso, dizemos que o alelo não é totalmente penetrante.

A **penetrância** é definida como uma porcentagem que informa quantos indivíduos, dentro da população, expressam o fenótipo esperado para determinado genótipo. Vamos ver um exemplo hipotético: se afirmarmos que, entre as pessoas que apresentam o alelo que condiciona a polidactilia, 90% delas possuem dedos extras, essa é a penetrância do alelo. Isso significa que, na po-

pulação, 10% dos portadores do alelo dominante não manifestam a característica polidactilia.

O grau no qual uma característica é expressa corresponde à **expressividade** dos alelos. No caso da polidactilia, o alelo dominante possui expressividade variável. Algumas pessoas com polidactilia possuem dedos extras completos e funcionais, enquanto outras possuem apenas uma parte do dedo, ou até mesmo uma pequena marca de pele no lugar onde se desenvolveria o dedo extra.

A penetrância incompleta e a expressividade variável são devidas à interação dos alelos de um gene com outros genes e/ou com fatores ambientais que podem alterar o efeito de um alelo.

Fonte:

PIERCE, B. *Genética: um enfoque conceitual*. 3. ed. RJ: Guanabara Koogan, 2011.



P Barber/Getty Images

^ O alelo que condiciona a **polidactilia** possui expressividade variável.





## Eritroblastose fetal

A **eritroblastose fetal** é um quadro caracterizado pelo rompimento e destruição de hemácias do sangue de um recém-nascido ou do feto prestes a nascer. Como o termo que designa a destruição de hemácias é denominado hemólise, esse quadro é também conhecido por doença hemolítica do recém-nascido.

Essa condição ocorre em filhos **Rh<sup>+</sup>**, de mães **Rh<sup>-</sup>**, o que somente é possível quando o pai é **Rh<sup>+</sup>**. No entanto, se a mãe nunca recebeu transfusão de sangue **Rh<sup>+</sup>**, a eritroblastose fetal não ocorre com o primeiro filho, podendo acontecer a partir do segundo filho, caso ele também seja **Rh<sup>+</sup>**.

Durante a gestação, o feto recebe nutrição através da placenta, que possibilita a passagem de plasma sanguíneo (e não de células sanguíneas) da mãe para o filho e também do filho para a mãe.

Durante o trabalho de parto, no entanto, com o descolamento da placenta, muitos capilares sanguíneos se rompem, possibilitando a passagem de hemácias do sangue do feto para a mãe. Sendo o filho **Rh<sup>+</sup>**, suas hemácias contêm

o fator **Rh**, o que desencadeia a produção de anticorpos **anti-Rh** no sangue da mãe **Rh<sup>-</sup>**.

Assim, quando os anticorpos **anti-Rh** são produzidos e armazenados no plasma materno, o primeiro filho já nasceu, ficando livre da eritroblastose. No entanto, o segundo filho **Rh<sup>+</sup>** passará a receber plasma materno contendo anticorpos **anti-Rh**, o que pode causar a eritroblastose fetal.

Nesse caso, a criança necessitará de uma exsanguinotransfusão, ou seja, ao mesmo tempo que seu sangue é retirado, é transfundido outro, necessariamente **Rh negativo**. Esse novo sangue, não contendo o antígeno **Rh**, não sofre hemólise, que poderia ser causada pelos anticorpos ainda presentes e que aos poucos vão diminuindo durante esse processo.

A criança que for geneticamente **Rh positivo** produzirá continuamente sangue com hemácias portadoras do fator **Rh** e dentro de aproximadamente cem dias, tempo de duração média das hemácias, seu sangue não mais conterá as hemácias recebidas pela transfusão.



Imagem, obtida por ultrassonografia, de um **feto** no início do 3º trimestre da gestação.

### DEPOIS DA LEITURA...

- Quais são as condições necessárias para a ocorrência de eritroblastose fetal?
- Qual é o procedimento usual para salvar a vida de um recém-nascido com a doença?
- Elabore um desenho esquemático ilustrando o que está escrito no texto, descrevendo nesse esquema os principais processos envolvidos com a possibilidade de eritroblastose fetal. Discuta seu esquema com os colegas.

a) A mãe deve ser **Rh<sup>-</sup>** e o feto **Rh<sup>+</sup>**. A mãe deve estar sensibilizada ao fator **Rh**.  
 b) Transfusão de sangue **Rh<sup>-</sup>** ao mesmo tempo que o sangue **Rh<sup>+</sup>** é retirado.  
 c) Resposta pessoal.

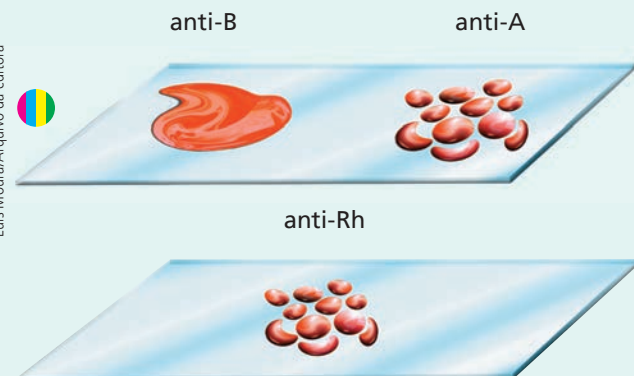
## Revedo e aplicando conceitos

- A respeito da determinação da cor dos pelos em coelhos, responda:
  - Por que o coelho selvagem (aguti) é o que possui maior número de possibilidades genóticas para cor da pelagem? 1. a) O alelo que determina o fenótipo selvagem é dominante em relação aos outros três alelos envolvidos na cor da pelagem em coelhos.
  - Quais genótipos podem condicionar o nascimento de coelhos himalaia? 1. b) Himalaia:  $c^h c^h$  e  $c^h c$ .
- Manchas brancas nos pelos de coelhos são determinadas por alelos que vamos chamar de  $E/e$ , com os seguintes genótipos:

		
<small>Skywing/Shutterstock</small>	<small>Skywing/Shutterstock</small>	<small>Evgeny Karandaev/Shutterstock</small>
<b>Genótipo:</b> $ee$ <b>Fenótipo:</b> uma única cor de pelos, exceto branco.	<b>Genótipo:</b> $Ee$ <b>Fenótipo:</b> manchas brancas, cobrindo de 10% a 90% da pelagem.	<b>Genótipo:</b> $EE$ <b>Fenótipo:</b> manchas brancas correspondendo a mais de 90% da pelagem.

Responda: 2. a) Existe 25% de chance de um casal heterozigótico ( $Ee \times Ee$ ) gerar um filhote de cor sólida ( $ee$ ).

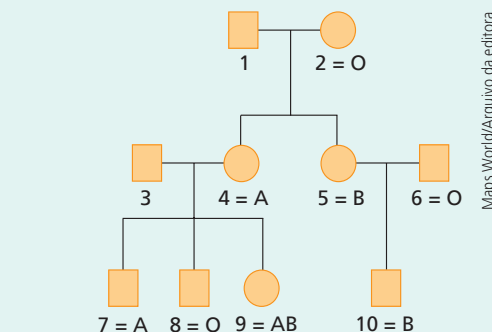
- Qual é a probabilidade de nascer um coelho de cor sólida, sem manchas, a partir do cruzamento entre um casal em que ambos são heterozigóticos?
  - Compare a herança de manchas brancas na pelagem com a herança da cor dos pelos, em coelhos, com base no que você estudou neste capítulo.
3. A, Rh<sup>+</sup>. Veja comentários no Manual.
- Observe as figuras a seguir, que representam os resultados de exame de sangue para determinação do grupo sanguíneo de uma pessoa. Qual é o tipo sanguíneo dessa pessoa? Justifique sua resposta.



- A herança de manchas brancas na pelagem é um caso de monoidrismo, determinada por um par de alelos com dominância incompleta entre eles. A herança da cor dos pelos é um caso de polialelia, envolvendo quatro alelos.

5. Anti-A e anti-B já existem naturalmente no corpo das pessoas, ao passo que o anti-Rh é formado se uma pessoa com sangue Rh<sup>+</sup> tiver contato com o antígeno Rh.

- São 6 genótipos possíveis e 4 fenótipos. Consulte o Manual.
- Em uma espécie de pato, a cor da plumagem é determinada por três alelos. Os alelos  $H$  e  $I$  são codominantes e o alelo  $i$  é recessivo. Quantos genótipos e quantos fenótipos seria possível encontrar em uma população de patos em que os três alelos estivessem presentes?
- Por que dizemos que anti-A e anti-B são “anticorpos naturais” e que anti-Rh não é?
- Procure conhecer o grupo sanguíneo do sistema ABO e o fator Rh de diversas pessoas do seu convívio. Anote o número de pessoas de cada grupo. Depois, solicite o resultado obtido por alguns colegas e some com o seu.
- Resposta pessoal.
- De posse desses resultados, calcule a taxa de incidência de cada grupo sanguíneo e do fator Rh em sua classe.
- Observe o heredograma abaixo. Descubra os genótipos de todos os indivíduos quanto ao sistema ABO; alguns fenótipos já estão anotados.



## Trabalhando com gráficos

- Analise o exemplo a seguir, em que consideramos os seguintes valores aproximados, válidos para uma determinada população:

grupo O → 48%	Rh positivo → 85%
grupo A → 42%	Rh negativo → 15%
grupo B → 8%	
grupo AB → 2%	

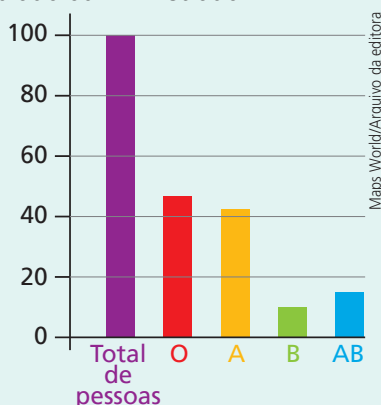
Dessa forma, a possibilidade de encontrar indivíduos do grupo A, por exemplo, é de 42 em cada conjunto de 100.

Esses dados podem ser colocados em gráficos, para permitir uma visualização rápida. Por exemplo, o gráfico seguinte representa a taxa de indivíduos dos quatro grupos sanguíneos do sistema ABO, nesta população hipotética.

8. O gráfico deve ter duas colunas (barras) com alturas proporcionais a 85% e 15%. Consulte o Manual.

10. c) Os bancos de sangue armazenam bolsas de sangue sem contaminantes ou parasitas, prontos para transfusão, o que garante a rapidez necessária para o tratamento de pacientes que precisam repor o sangue perdido, devido a um acidente, cirurgia ou outras condições. A transfusão de sangue pode ser urgente e a única maneira de salvar a vida de uma pessoa.

Faça um gráfico semelhante, para mostrar a proporção entre indivíduos Rh positivo e indivíduos Rh negativo dessa amostra. Sugerimos que você utilize papel quadriculado ou milimetrado.



9. Os números fornecidos na atividade 8 foram obtidos de estatísticas divulgadas na literatura apropriada. Compare esses valores com aqueles obtidos por você e seus colegas na atividade 6 e elabore uma explicação para possíveis variações entre os dados.

9. Resposta pessoal. Sugestões: consulta a muitos membros de uma mesma família, amostragem pouco significativa etc.

## Ciência, Tecnologia e Sociedade

10. A doação de sangue é incentivada pelo Ministério da Saúde em campanhas anuais entre a população brasileira. Sem doadores, não há sangue disponível para a transfusão, um procedimento médico que pode salvar a vida de uma pessoa.

Veja no texto a seguir um pouco da história da transfusão de sangue:

Realizadas experimentalmente em animais, a primeira transfusão de sangue é atribuída a Richard Lower em demonstração realizada em Oxford, em 1665.

A primeira experiência em ser humano aconteceu dois anos mais tarde em 1667, em Paris. Seu autor foi Jean Baptiste Denis [...]. Tomando um tubo de prata, Denis infundiu um copo de sangue de carneiro em Antoine Mauroy, de 34 anos, doente mental que perambulava nas ruas da cidade. Conta-se que, após resistir a duas transfusões, Mauroy teria falecido provavelmente em consequência da terceira.

Um fato curioso: as transfusões de sangue nessa época eram heterólogas, isto é, com sangue de animais de espécies diferentes. [...] Considerada criminosa, a transfusão heteróloga foi proibida na Faculdade de Medicina de Paris e, posteriormente, na de Roma (Itália) e na Royal Society, da Inglaterra.

10. b) O sistema ABO explica a herança do grupo sanguíneo, de acordo com a presença dos aglutinogênios chamados **A** e **B** nas hemácias humanas. Pela descoberta do sistema ABO, as transfusões passaram a ser mais seguras, feitas de acordo com a compatibilidade do tipo sanguíneo.

Embora proibidas, as experiências não foram de todo abandonadas. Em 1788, após tentativas fracassadas com transfusões heterólogas, Pontick e Landois obtiveram resultados positivos realizando transfusões homólogas (entre animais da mesma espécie), concluindo que elas poderiam ser benéficas e inclusive salvar vidas. A primeira transfusão com sangue humano é atribuída a James Blundell, em 1818 que, após realizar com sucesso experimentos em animais, transfundiu sangue humano em mulheres com hemorragia pós-parto.

[...] Em 1900, o imunologista austríaco Karl Landsteiner observou que o soro do sangue de uma pessoa muitas vezes coagula ao ser misturado com o de outra, descobrindo o primeiro e mais importante sistema de grupo sanguíneo existente no organismo: o ABO.

Fundação Pró-Sangue – Hemocentro de São Paulo, disponível em: <<http://www.prosangue.sp.gov.br/artigos/estudantes>>. Acesso em: 10 mar. 2016.

10. a) A existência de antígenos no sangue de outros animais, que deflagram a aglutinação do sangue do receptor.

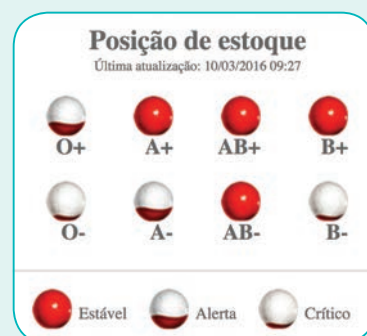
- a. Elabore uma explicação para o fato de as transfusões heterólogas resultarem em morte dos receptores.

- b. Explique o que é o sistema ABO e por que sua descoberta foi importante para a Medicina.

- c. Atualmente, a transfusão de sangue é um procedimento hospitalar seguro, quando se utiliza sangue coletado em hemocentros, que seguem todos os cuidados necessários na coleta e na triagem. O sangue doado é conservado em câmaras frias por cerca de 40 dias. Explique qual é a importância dos hemocentros ou bancos de sangue e do hábito de doar sangue.

- d. O hemocentro da cidade de São Paulo divulga em seu site como está o estoque de bolsas de sangue. Veja ao lado como estava a situação em 10 de março de 2016.

Por que é importante, nessa situação, estabilizar o estoque de bolsas de sangue O?



Disponível em: <<http://www.prosangue.sp.gov.br/>>. Acesso em: 10 mar. 2016.

10. d) O sangue tipo **O** é considerado universal, podendo ser doado para pessoas de todos os tipos sanguíneos.



11. b) Não. As variedades de peixes sobreviventes (vermelho, laranja e amarelo) não são portadoras do alelo  $G$ , que condiciona cor verde.

## Questões do Enem e de vestibulares

11. (Unifesp) Uma espécie de peixe possui indivíduos verdes, vermelhos, laranja e amarelos. Esses fenótipos são determinados por um gene com diferentes alelos, como descrito na tabela.

Fenótipos	Genótipos
Verde	$GG, GG^1, GG^2$
Vermelho	$G^1G^1$
Laranja	$G^1G^2$
Amarelo	$G^2G^2$

Suponha que esses peixes vivam em lagoas onde ocorre despejo de poluentes que não causam a morte dos mesmos, porém os tornam mais visíveis aos predadores.

- a. Em uma dessas lagoas, os peixes amarelos ficam mais visíveis para os predadores, sendo completamente eliminados naquela geração. Haverá a possibilidade de nascerem peixes amarelos na geração seguinte? Explique. 11. a) Sim. Consulte o Manual.
- b. Em outra lagoa, os peixes verdes ficam mais visíveis aos predadores e são eliminados naquela geração. Haverá possibilidade de nascerem peixes verdes na geração seguinte? Explique.
12. (UFRS – mod.) Uma mulher do tipo sanguíneo A gerou uma criança de sangue O. Por tratar-se de um caso de paternidade duvidosa, foram investigados os grupos sanguíneos dos três possíveis pais dessa criança, que são os seguintes:

Homem I – AB

Homem II – B

Homem III – O

Quais desses homens podem ser excluídos, com certeza, dessa paternidade? 12. Homem I. Consulte o Manual.

13. (UFJF-MG) As videiras podem produzir uvas de coloração vermelha, vinho, rosa e amarela. O cruzamento entre plantas com esses fenótipos produziu as seguintes proles na geração  $F_1$ :

Cruzamento parental	Geração $F_1$
(1) vermelha homozigótica × qualquer linhagem	todas vermelhas
(2) vinho × rosa	50% rosa e 50% vinho
(3) amarela × amarela	100% amarela
(4) vinho × amarela	50% vinho e 50% rosa

13. b) Proporção genotípica =

$1 V^1V^1 : 2 V^1V^R : 1 V^R V^R$ . Proporção fenotípica = 3 plantas de uva vinho : 1 planta de uva rosa.

Com base nos resultados apresentados anteriormente, responda ao que se pede:

- a. Quantos alelos estão envolvidos na determinação do caráter **cor de fruto** e qual a relação de dominância entre eles? 13. a) 4 alelos:  $V^E$  (vermelha),  $V^R$  (rosa),  $V^1$  (vinho) e  $V^A$  (amarela). Relação de dominância:  $V^E > V^1 > V^R > V^A$ .
- b. Qual a proporção genotípica e fenotípica do cruzamento entre plantas de fruto vinho do cruzamento parental com plantas de fruto vinho do cruzamento parental? 13. c) Não existe essa possibilidade. Consulte o Manual.
- c. Quantas plantas com frutos amarelos serão geradas, a partir de 200 sementes oriundas do cruzamento entre plantas de frutos vinho do cruzamento parental (4) com plantas de frutos rosa do cruzamento parental?

14. (Enem-2015) Em um hospital havia cinco lotes de bolsas de sangue, rotulados com os códigos I, II, III, IV e V. Cada lote continha apenas um tipo sanguíneo não identificado. Uma funcionária do hospital resolveu fazer a identificação utilizando dois tipos de soro, anti-A e anti-B. Os resultados obtidos estão descritos no quadro.

Código dos lotes	Volume de sangue (L)	Soro anti-A	Soro anti-B
I	22	Não aglutinou	Aglutinou
II	25	Aglutinou	Não aglutinou
III	30	Aglutinou	Aglutinou
IV	15	Não aglutinou	Não aglutinou
V	33	Não aglutinou	aglutinou

Quantos litros de sangue eram do grupo sanguíneo do tipo A?

a. 15 d. 33

14. b. 25 e. 55

c. 30

15. (Fuvest-SP) Nos anos 1940, o famoso cineasta Charlie Chaplin foi acusado de ser o pai de uma criança, fato que ele não admitia. Os exames de sangue revelaram que a mãe era do grupo A, a criança do grupo B e Chaplin do grupo O. Ao final do julgamento, Chaplin foi considerado como sendo um possível pai da criança.

a. O veredito é aceitável? Por quê?

15. a) O veredito não é aceitável. Veja comentários no Manual.

b. Na hipótese de Chaplin ter tido filhos com a referida mulher, de que tipos sanguíneos eles poderiam ser?

15. b) Chaplin e a mulher só poderiam ter filhos dos grupos A ou O.

# Segunda Lei de Mendel

## 1 Mendel e a herança de dois caracteres

No capítulo 6, conhecemos o trabalho de Mendel com determinadas características de plantas de ervilhas. Vimos casos de monoidrismo, ou seja, variações de um caráter determinadas por um par de alelos. No caso da ervilha, esse caráter pode ser a cor da semente (verde ou amarela), a sua forma (lisa ou rugosa), entre outras.

Observe a imagem de sementes de ervilha ao lado. Você pode verificar que existem sementes lisas e amarelas, lisas e verdes, rugosas e amarelas, rugosas e verdes. Como fazer para analisar a herança genética de dois caracteres – neste caso, cor e forma da semente – ao mesmo tempo? Casos assim podem ser explicados pela **Segunda Lei de Mendel**.

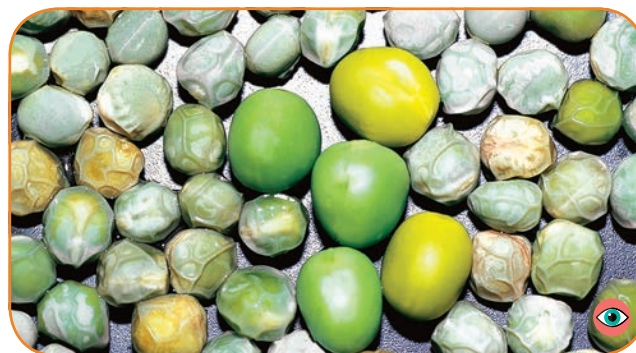
Os dois alelos que determinam a forma da semente de ervilha estão situados em um par de cromossomos homólogos, e os dois alelos que determinam a cor das sementes localizam-se em outro par de cromossomos homólogos.

Assim, para estudarmos esses dois caracteres simultaneamente, precisamos considerar dois pares de cromossomos homólogos.

Consideremos inicialmente uma planta de ervilha que produza sementes lisas e amarelas, sendo homozigótica para esses dois caracteres. Você sabe que o genótipo dessa planta é  $RR$  para forma lisa e  $VV$  para cor amarela da semente. Considerando os dois caracteres, o genótipo é, portanto,  $RRVV$ .

Consideremos agora o cruzamento dessa planta com uma que produza sementes rugosas e verdes. Como você sabe, essa planta é homozigótica para esses dois caracteres, pois rugoso e verde são condicionados por alelos recessivos e os indivíduos com caracteres recessivos são sempre puros para aquele caráter. O genótipo dessa planta é, portanto,  $rrvv$ .

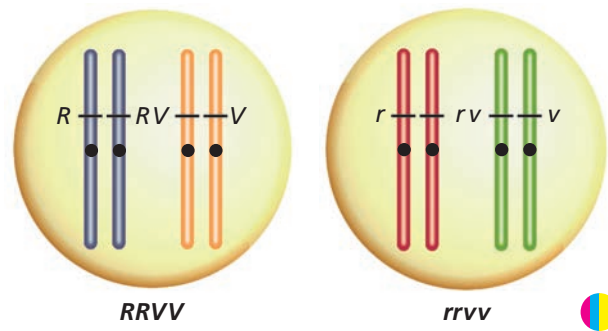
### COMENTÁRIOS GERAIS



Vitória Ang/Aquivo da fotografa

Variedade de **sementes de ervilha** quanto à textura da casca (lisa ou rugosa) e à cor (verde ou amarela).

### Genótipos possíveis de planta de ervilha, considerando cor e forma da semente



Luis Moura/Arquivo da editora

Esquema representando os **genótipos de duas plantas de ervilha quanto à forma e cor das sementes**:  $RRVV$  e  $rrvv$ . As barras indicam de forma simplificada os dois pares de cromossomos homólogos onde estariam localizados esses alelos. Não estão representados todos os pares de homólogos de uma célula diploide de ervilha, tampouco a posição exata dos alelos nos cromossomos.



### PENSE E RESPONDA

Responda no caderno:

- Consultando o glossário etimológico, explique o significado do termo **monóibrido**.
- Uma planta de ervilha cujo genótipo é  $RrVv$  é monóibrida ou di-híbrida para os caracteres considerados? Justifique sua resposta.

- a) Heterozigótico (híbrido) para um caráter (*mono* = um).  
b) Di-híbrida, pois estamos considerando dois caracteres (*di* = dois).

Dessa forma, o cruzamento será entre uma planta de genótipo  $RRVV$  e uma planta  $rrvv$ . Como serão os gametas produzidos por essas plantas?

Geração P (parental):	$RRVV$	×	$rrvv$
Tipos de gametas produzidos:	$RV$		$rv$

Pela polinização e consequente fecundação, todos os indivíduos da geração  $F_1$  serão heterozigóticos ( $RrVv$ ). Veja:

Gametas		$RV$
Gametas		
$rv$		$RrVv$

Todos os descendentes, pertencentes à geração  $F_1$ , são híbridos para os dois caracteres em estudo. Assim, você pode dizer que eles são di-híbridos.

Monoíbridos são os genótipos híbridos, ou heterozigóticos, para um caráter, di-híbridos são híbridos para dois caracteres e tri-híbridos para três, pois os prefixos *mono*, *di* e *tri* significam, respectivamente, "um", "dois" e "três", conforme você pode conferir no glossário etimológico.

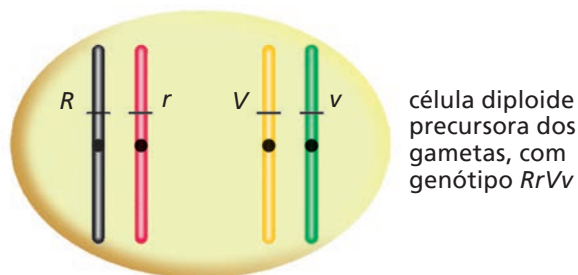
Genericamente, costuma-se falar em poli-híbridos quando são três ou mais os caracteres (*poli* significa "muitos").

Veja agora a representação de um cruzamento entre di-híbridos, como as plantas da geração  $F_1$ :

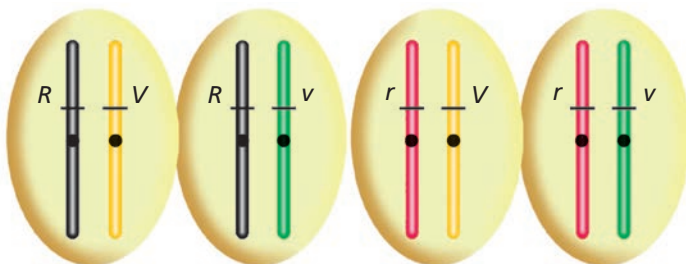
Geração $F_1$ :	$RrVv$	×	$RrVv$
-----------------	--------	---	--------

✓ Esquema mostrando as **combinações possíveis para o genótipo dos gametas, considerando uma planta di-híbrida** ( $RrVv$ ) para os caracteres forma e cor da semente.

### Genótipo: célula diploide e gametas haploides



Possibilidades dos genótipos dos gametas (haploides):



















Os gametas são haploides e, assim, cada gameta possui apenas um alelo de cada gene, ou seja, um alelo que condiciona a forma e um que condiciona a cor da semente.

Se o gameta receber o cromossomo que contém o alelo  $R$ , tanto pode receber o que contém o alelo  $V$ , como o que contém o alelo  $v$ . O mesmo ocorrerá se receber o cromossomo que contém o alelo  $r$  (veja o esquema ao lado).

Assim, podem ocorrer quatro combinações gênicas nos gametas formados nos indivíduos di-híbridos. Essas quatro combinações ( $RV$ ,  $Rv$ ,  $rV$  e  $rv$ ) têm igual probabilidade de ocorrer.



Como qualquer gameta masculino pode se encontrar com qualquer gameta feminino, no cruzamento entre di-híbridos podem ocorrer as possibilidades mostradas no quadro abaixo:

Gametas	<i>RV</i>	<i>Rv</i>	<i>rV</i>	<i>rv</i>
<i>RV</i>	<i>RRVV</i> 	<i>RRVv</i> 	<i>RrVV</i> 	<i>RrVv</i> 
<i>Rv</i>	<i>RRVv</i> 	<i>RRvv</i> 	<i>RrVv</i> 	<i>Rrvv</i> 
<i>rV</i>	<i>RrVV</i> 	<i>RrVv</i> 	<i>rrVV</i> 	<i>rrVv</i> 
<i>rv</i>	<i>RrVv</i> 	<i>Rrvv</i> 	<i>rrVv</i> 	<i>rrvv</i> 

Luis Moura/Arquivo da editora





< Quadro com resultados possíveis do cruzamento de di-híbridos para caracteres forma e cor da semente de ervilha ( $RrVv \times RrVv$ ).

O quadro acima mostra que, em um total de 16 possibilidades para o cruzamento, podem se formar 9 genótipos diferentes. Acompanhe no quadro ao lado a relação desses genótipos e o número de vezes que cada um deles aparece.

Como mostra o quadro, o genótipo mais frequente é o do di-híbrido ( $RrVv$ ), que aparece quatro vezes. Os genótipos mais raros, que aparecem apenas uma vez, são aqueles que apresentam genótipos puros:  $RRVV$ ,  $RRvv$ ,  $rrVV$  e  $rrvv$ .

Os 9 genótipos possíveis dão origem a apenas 4 fenótipos, conforme você pode conferir no quadro abaixo.

Genótipo	Número de vezes
<i>RRVV</i>	1
<i>RRVv</i>	2
<i>RrVV</i>	2
<i>RrVv</i>	4
<i>RRvv</i>	1
<i>Rrvv</i>	2
<i>rrVV</i>	1
<i>rrVv</i>	2
<i>rrvv</i>	1

	semente lisa e amarela: condicionada pelos genótipos <i>RRVV</i> , <i>RRVv</i> , <i>RrVV</i> e <i>RrVv</i>
	semente lisa e verde: condicionada pelos genótipos <i>RRvv</i> e <i>Rrvv</i>
	semente rugosa e amarela: condicionada pelos genótipos <i>rrVV</i> e <i>rrVv</i>
	semente rugosa e verde: condicionada pelo genótipo <i>rrvv</i> .

Luis Moura/Arquivo da editora



#### MULTIMÍDIA

#### Mendel e a invasão dos transgênicos

Luca Novelli, Ed. Ciranda Cultural, 2008.

Este livro, da coleção *Gênios da Ciência*, conta de modo divertido a história de Gregor Mendel e a importância de seu trabalho.

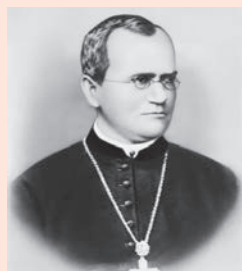


Divulgação



## ATENÇÃO

Mendel registrou detalhadamente seus trabalhos, entretanto, não enunciou suas conclusões sob forma de leis. Ele referia-se a "fatores", uma vez que, naquela época, cromossomos e genes eram desconhecidos. Enunciados, como o aqui apresentado, levam em conta noções atuais de Genética e de meiose. Assim, não há enunciado oficial pelas leis de Mendel.



Gregor Mendel.

A formação dos nove genótipos diferentes é possível porque os alelos que condicionam o caráter forma da semente e os alelos que condicionam o caráter cor da semente estão situados em diferentes pares de cromossomos homólogos.

Se os alelos para os dois caracteres estivessem no mesmo cromossomo, eles não se separariam independentemente e as possibilidades de genótipos formados seriam bem menores.

Na verdade, a separação ou **disjunção** é dos cromossomos e não dos genes, conforme você deve ter aprendido ao estudar o processo de divisão celular. Podemos, então, enunciar o que ficou conhecido como Segunda Lei de Mendel do seguinte modo:

### Segunda Lei de Mendel:

"Na formação dos gametas, os alelos existentes em um par de cromossomos homólogos separam-se independentemente de qualquer outro par de alelos existente em outro par de homólogos."

Essa lei é válida não somente para os di-híbridos, como também para os poli-híbridos, sempre considerando alelos para diferentes caracteres situados em diferentes pares de cromossomos homólogos.

Podemos calcular o número de fenótipos e de genótipos possíveis, em qualquer cruzamento entre híbridos.

Considerando  $n$  como sendo o número de pares de alelos, podemos estabelecer:

› número de fenótipos:  $2^n$

› número de genótipos:  $3^n$

Para os monoíbridos, o valor de  $n = 1$ . Nesse caso, teremos: 2 fenótipos e 3 genótipos.

No caso de di-híbridos, teremos:

› número de fenótipos:  $2^n = 2^2 = 4$

› número de genótipos:  $3^n = 3^2 = 9$

Para verificarmos quais são os gametas formados em um indivíduo com genótipo  $AaBbCc$ , devemos nos lembrar de que os pares de alelos estão localizados em cromossomos diferentes, que sofrem disjunção independente no momento da meiose, conforme ilustrado no esquema abaixo.

a) Podem ser produzidos 8 ( $2^3$ ) gametas diferentes:  $ABC, ABc, AbC, aBC, aBc, Abc, abC, abc$ .  
b) Utilizando a fórmula  $3^n$ , teremos:  $3^3 = 27$  genótipos possíveis.

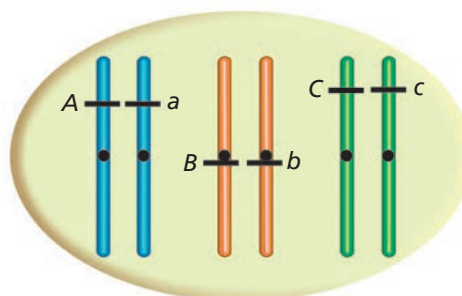


## PENSE E RESPONDA

Considerando a Segunda Lei de Mendel e o cruzamento entre dois indivíduos que apresentam o genótipo  $AaBbCc \times AaBbCc$ :

- determine quantos e quais são os gametas diferentes que poderão ser formados em cada indivíduo;
- determine o número de genótipos possíveis como resultado desse cruzamento.

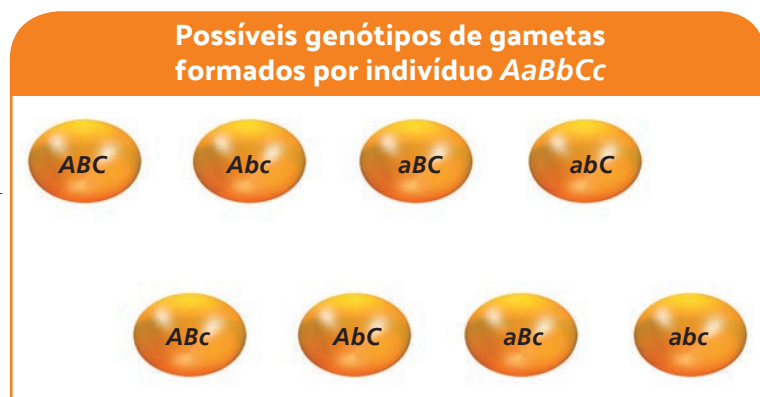
### Genótipo: $AaBbCc$



Esquema representando o **genótipo de um indivíduo tri-híbrido**:  $AaBbCc$ . Os três pares de alelos estão localizados em três diferentes pares de cromossomos homólogos, representados pelas barras coloridas.

Assim, um gameta que recebe o cromossomo portador do alelo *A* pode receber o cromossomo que contém o alelo *B* ou o que contém o alelo *b*, e outro cromossomo contendo o alelo *C* ou o alelo *c*. O mesmo é válido para o gameta que receber o cromossomo com o alelo *a*. Você pode concluir que há oito possibilidades na formação dos gametas:

Luis Moura/Arquivo da editora



Podemos também utilizar a seguinte fórmula, muito útil para o cálculo do número de gametas formados em poli-híbridos:  $2^z$ , onde *z* corresponde ao número de pares de alelos em heterozigose.

Assim, no nosso exemplo, os dois indivíduos apresentam três pares de alelos em heterozigose: *Aa*, *Bb* e *Cc*. Utilizando a fórmula, teremos  $2^3 = 8$  tipos diferentes de gametas, quanto à combinação dos três alelos.

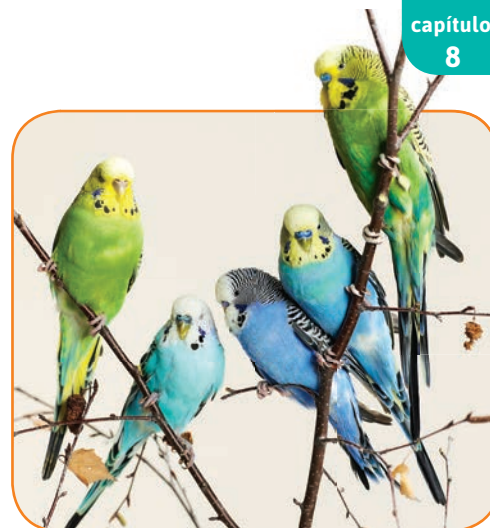
Para descobrir o número de genótipos possíveis, você já sabe que devemos calcular  $3^n$ , onde *n* corresponde ao número de caracteres. Nesse caso, temos 3 pares de alelos, que, de acordo com a Segunda Lei de Mendel, condicionam 3 caracteres; assim, teremos  $3^3 = 27$  genótipos possíveis.

## 2 Probabilidade e leis de Mendel

Para solucionar uma questão que trata de dois caracteres determinados por dois pares de alelos distintos e localizados em diferentes cromossomos, vimos que precisamos identificar os gametas formados pela geração *P* e depois montar um quadro com as possibilidades de cruzamento.

Podemos também considerar os dois caracteres separadamente, como se fossem dois casos distintos de monohibridismo. Depois de calculadas as possibilidades de transmissão para cada caráter, devem-se multiplicar os resultados.

Vamos retomar o exemplo das ervilhas, analisando os aspectos forma e cor da semente. Sabemos, de acordo com a Primeira Lei de Mendel, que a proporção genotípica esperada para forma da semente em um cruzamento entre duas plantas híbridas para esse caráter é a que está indicada no quadro ao lado.



^ O padrão de cores das penas dos periquitos e os fenótipos liso ou rajado são dois caracteres distintos, cada um determinado por um gene distinto, localizados em cromossomos não homólogos. A herança desses caracteres segue, portanto, a Segunda Lei de Mendel. O periquito mede cerca de 13 cm de comprimento.



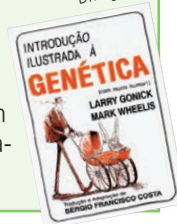
### MULTIMÍDIA

#### Introdução ilustrada à Genética (com muito humor!)

Larry Gonick e Mark Wheelis, Editora Harbra, 1995.

Divirta-se com este livro, que explica as leis da hereditariedade de um modo descomplicado e com quadrinhos de Larry Gonick, um matemático e cartunista dedicado ao universo da Ciência.

Divulgação



$$Rr \times Rr$$

Gametas	<i>R</i>	<i>r</i>
<i>R</i>	<i>RR</i> (lisa)	<i>Rr</i> (lisa)
<i>r</i>	<i>Rr</i> (lisa)	<i>rr</i> (rugosa)



Para a transmissão dos alelos envolvidos na determinação da cor da semente de ervilha, temos:

➤ Quadro de Punnett com os **resultados possíveis para o cruzamento** de plantas de ervilha, considerando apenas o caráter cor da semente.

$$Vv \times Vv$$

Gametas	V	v
V	VV (amarela)	Vv (amarela)
v	Vv (amarela)	vv (verde)

Considerando o cruzamento entre plantas de ervilhas lisas e amarelas, ambas heterozigóticas para os dois pares de alelos, qual seria a proporção esperada de sementes que gerassem plantas com ervilhas verdes e rugosas?

Podemos multiplicar a possibilidade de ser verde (1/4) com a possibilidade de ser rugosa (1/4); o resultado dá 1/16 – igual ao que obtivemos montando o quadro da página 167.

Isso é possível porque as leis de Mendel refletem as **leis da probabilidade**.

Se quisermos calcular a probabilidade de dois eventos independentes ocorrerem simultaneamente, devemos obter o produto da chance de cada evento ocorrer isoladamente.

Vejamos um exemplo: uma pessoa joga um dado duas vezes seguidas. Qual é a probabilidade de se obter o número 5 no primeiro lançamento e 6 no segundo lançamento do dado?

- Probabilidade de obter "5" no lançamento = 1/6 (pois o dado tem 6 faces).
- Probabilidade de obter "6" no lançamento do dado = 1/6.
- Probabilidade final:  $1/6 \times 1/6 = 1/36$ .

Agora, veja a seguinte situação: desejamos saber qual é a probabilidade de, no lançamento de um dado, obtermos o número 5 **ou** o número 6. Esses dois eventos são independentes, mas não precisam ocorrer simultaneamente. Então, deve-se somar as probabilidades de cada evento acontecer:

- Probabilidade de sair o número 5 no lançamento de um dado: 1/6.
- Probabilidade de sair o número 6 no lançamento de um dado: 1/6.
- Probabilidade final:  $1/6 + 1/6 = 2/6$ , que podemos simplificar, dividindo os dois fatores por 2, e teremos 1/3.

➤ As leis da Genética refletem as **leis da probabilidade**.





## A validade da Segunda Lei de Mendel

Veja comentários a respeito do texto no Manual.

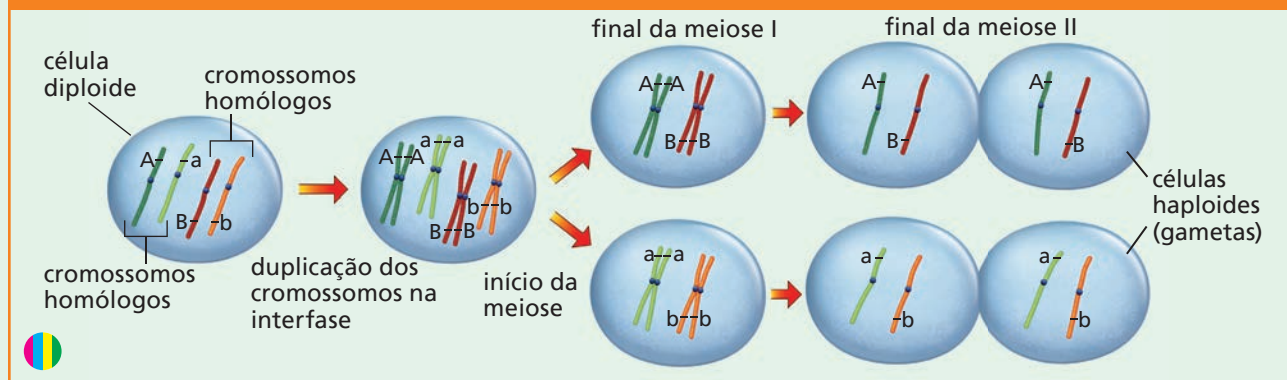
Esteja atento aos enunciados de questões, ou ao conteúdo de reportagens, que façam referência a duas ou mais características distintas, cada uma determinada por um par de alelos. Se houver a indicação de que esses pares de alelos localizam-se em cromossomos diferentes, então se aplica a Segunda Lei de Mendel. Os cromossomos homólogos separam-se na meiose, mas cada par sofre disjunção independente dos outros pares de cromossomos.

Cada cromossomo é formado por uma molécula de DNA associada a proteínas. Na molécula de DNA existem diversas regiões que correspondem a genes. Assim, existem casos de pares de alelos que

condicionam características distintas, mas que estão localizados no mesmo par de cromossomos homólogos. Nesse caso, falamos em **vinculação gênica** (ou *linkage*, expressão em inglês, utilizada também no Brasil) e as regras e proporções esperadas segundo a Lei de Mendel não se aplicam. Veremos o que é a vinculação gênica no próximo capítulo.

A ilustração a seguir representa a disjunção de dois pares de cromossomos na meiose de uma célula animal. Estamos considerando dois pares de alelos hipotéticos ( $A/a$ ;  $B/b$ ), cada um localizado em um par de cromossomos com segregação independente.

### Segregação independente de dois pares de alelos na meiose



Oswaldo Sequetin/Arquivo da editora

## A importância da análise estatística nas pesquisas científicas

Aprendemos neste capítulo e nos anteriores que existem frequências genotípicas e fenotípicas esperadas para um cruzamento, considerando determinado caráter e os alelos envolvidos em sua herança. Sabemos, por exemplo, que em um caso de Primeira Lei de Mendel com dominância completa entre os alelos, a proporção fenotípica esperada para o cruzamento entre híbridos é 3: 1, e a proporção genotípica é 1: 2: 1.

Vamos ver um exemplo ilustrativo, com dados fictícios. Suponha um pesquisador que estuda a herança de um caráter – a cor dos élitros (asas externas) – na população de besouros de um bosque, sabendo que se trata de um caso de Primeira Lei.

Será que o pesquisador observará exatamente a proporção fenotípica esperada, considerando o cruzamento de machos e fêmeas híbridos?

O esperado seria observar, entre os descendentes, um número três vezes maior de besouros com asas escuras (fenótipo dominante) do que

o número de besouros com asas amarelas (fenótipo recessivo). Vamos imaginar que, ao coletar os dados, o pesquisador observe 70 besouros de asas escuras e 30 de asas amarelas.

É possível argumentar que fatores aleatórios, ou o acaso, tenham produzido tal resultado. Alguns besouros podem não ter sido observados no período da pesquisa, ou o mecanismo de herança pode não ser o monoidrismo de Mendel.

Como os pesquisadores fazem para verificar se os resultados obtidos estão de acordo com as proporções esperadas, e apenas sofreram efeitos do acaso, ou se indicam se tratar de um caso distinto de herança? Para isso, são utilizados testes estatísticos que permitem avaliar a probabilidade de que a diferença entre valores observados e esperados sejam devidos ao acaso. A estatística, área da qual o estudo das probabilidades faz parte, é uma ferramenta matemática fundamental nos estudos científicos.



## As leis da Genética e a economia humana

Há grande interesse, principalmente do ponto de vista social e econômico, em se melhorar a qualidade dos produtos obtidos de animais e de plantas, bem como aumentar o rendimento na obtenção desses produtos. Nesse sentido, o conhecimento das leis da Genética muito tem auxiliado a humanidade.

A criação de galinhas oferece bom exemplo: através de determinados cruzamentos tem sido possível obter raças de galinhas capazes de produzir até o dobro de ovos do que o normal, no mesmo intervalo de tempo. Tem sido também possível obter frangos com mais carne do que os frangos comuns. Dentro de certos limites, em que a saúde dos animais é preservada e as condições de criação são adequadas, esses resultados favorecem a produção de carnes e ovos para a crescente população humana.

Na história da humanidade, a domesticação de animais e plantas ocorreu simultaneamente e estima-se que seu início tenha sido há cerca de 10 mil anos. Existem indícios de que os processos de domesticação surgiram em localidades diferentes, como no Oriente Médio e no México, de forma independente. As primeiras plantas e os primeiros animais domesticados certamente apresentavam, em seu estado selvagem, caracte-

rísticas consideradas vantajosas à domesticação. Esse processo de domesticação baseia-se na seleção de determinadas variedades a partir de cruzamentos.

No caso das plantas, acredita-se que as primeiras espécies selvagens a serem domesticadas eram herbáceas, de crescimento rápido e com grande produção de frutos e/ou sementes. Plantas com essas características crescem facilmente em ambientes perturbados – como terra alterada por assentamentos humanos. Plantas de crescimento lento e que se desenvolvem apenas no ambiente natural, como em uma floresta, certamente não seriam boas escolhas para cultivo.

Com o surgimento da agricultura, os seres humanos passaram a estabelecer comunidades em uma área, ao contrário do hábito coletor e caçador que os obrigava a mudar constantemente de local em busca de alimento. Por isso, o início da agricultura é tido por muitos especialistas como o marco inicial da civilização.

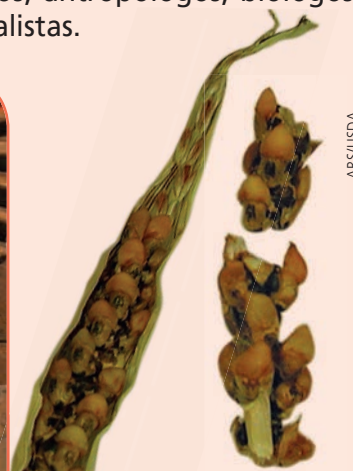
A história das plantas mais cultivadas e consumidas atualmente, como o trigo e o milho, é, portanto, muito antiga. O estudo dessa história envolve arqueólogos, antropólogos, biólogos, entre outros especialistas.

DIVULGAÇÃO PNLD

Kenneth Garrett/National Geographic Creative/Corbis/Latinstock



^ Escultura representando a **deusa do milho**, da cultura asteca, datando do século XIV.



ARS/USDA

^ Espiga de **teosinto**, planta nativa do México. Ela mede cerca de 5 cm de comprimento.



O milho era cultivado e consumido na região Centro-Sul do México há cerca de 8 mil anos. A hipótese mais aceita para a origem do milho moderno (*Zea mays*) é que ele resulta da domesticação de uma gramínea selvagem chamada teosinto, que ocorre em determinadas regiões do México. Essa planta apresenta muitas diferenças em relação ao milho que conhecemos; os seus grãos, por exemplo, são pequenos e duros e estão organizados em uma única fileira de grãos. O milho moderno, por sua vez, teria dificuldade em sobreviver no ambiente natural do teosinto: seus grãos, com revestimento muito fino, não estariam protegidos contra insetos e parasitas e, além disso, eles permanecem aderidos

ao “sabugo” mesmo depois de maduros – os grãos do teosinto são liberados para o ambiente assim que amadurecem, garantindo a propagação da planta.

Apesar de todas essas diferenças, experimentos genéticos no início do século XX demonstraram que o cruzamento entre teosinto e milho ocorre facilmente, com formação de híbridos férteis. Pesquisas recentes, na área da Biologia molecular, reforçam a hipótese da origem do milho a partir do teosinto. Em 2009, foi publicado na revista científica norte-americana *Science* o resultado do genoma do milho. Este conhecimento certamente ampliará o desenvolvimento de novas variedades da planta a partir da manipulação de seus genes.



Elena Elisseeva/Shutterstock

↗ **Variedades de milho** (fruto). Escolhendo as variedades fenotípicas mais interessantes para o cultivo e o consumo, o ser humano seleciona determinados genótipos da espécie do milho.

### DEPOIS DA LEITURA...

- a. No Oriente Médio, há indícios de cultivo de trigo datando de cerca de 9 mil anos. Atualmente, existem variedades de trigo com grãos maiores, resistentes ao frio e a doenças. Escolha uma planta de amplo consumo pelo ser humano, como o trigo, e faça uma pesquisa a respeito do processo de domesticação.
- b. O cruzamento seletivo de organismos de modo a obter descendentes com certas características vantajosas é um exemplo de biotecnologia. Atualmente, a biotecnologia envolve não somente cruzamentos seletivos, mas também a engenharia genética. No texto foi abordado qual aspecto da biotecnologia: o cruzamento seletivo ou a engenharia genética? Explique sua resposta.

a) Veja subsídios no Manual.

b) Cruzamento seletivo, pois no desenvolvimento do milho não houve manipulação direta do DNA por técnicas de engenharia genética.

1. Na formação dos gametas, os alelos de um par de cromossomos homólogos separam-se independentemente de alelos localizados em outros pares de cromossomos.

## Revedo e aplicando conceitos

1. Explique por que a Segunda Lei de Mendel também é conhecida como lei da segregação independente.
2. Quais são os gametas possíveis de serem formados por um indivíduo de genótipo  $aaBBcc$ ? Em que proporção? *2.  $aBC$  e  $aBc$ , em igual proporção.*
3. Consideremos uma pessoa do grupo sanguíneo **A**,  $Rh^+$  e de cabelos com bico de viúva (a implantação do cabelo forma bico em V na linha da testa), de genótipo puro, e uma pessoa do grupo **O**,  $Rh^-$  e de cabelos sem bico de viúva (a implantação do cabelo forma linha reta na testa). Seus genótipos serão  $I^A I^A RR CC$  e  $ii rr cc$ . Esses pares de alelos localizam-se em diferentes pares de cromossomos homólogos.

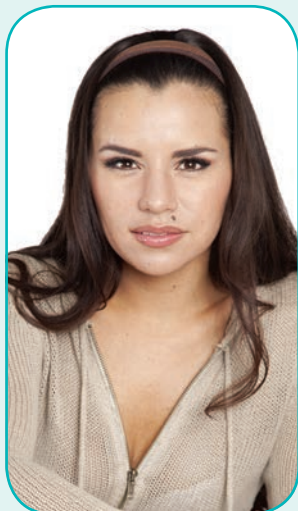
DIVULGAÇÃO PNLD

Photodisc/Arquivo da editora



^ Implantação dos cabelos formando uma linha reta na testa.

AGE Fotostock/Grupo Keystone



^ Implantação dos cabelos formando o "bico de viúva".

Os filhos desse casal serão todos tri-híbridos:  $I^A i Rr Cc$ . Quanto ao fenótipo serão do grupo **A**,  $Rh^+$  e com bico de viúva, que são as características dominantes.

Considerando a descendência formada a partir de tri-híbridos, anote o que se deve esperar como mais provável:

- a. o número de tipos de gametas formados;  
*3. a) 8 tipos de gametas ( $2^3 = 8$ ).*
- b. o fenótipo mais frequente nessa descendência;  
*3. b) Grupo **A**,  $Rh^+$ , cabelo com bico de viúva.*
- c. o fenótipo menos frequente;  
*3. c) Grupo **O**,  $Rh^-$ , cabelo sem bico de viúva.*
- d. o genótipo mais frequente;  
*3. d)  $I^A Rr Cc$  (tri-híbridos).*
- e. os genótipos menos frequentes.  
*3. e)  $I^A I^A RR CC$  e  $ii rr cc$ .*

4. A determinação da cor das penas em periquitos é feita por dois pares de alelos. O alelo **B** (dominante) condiciona a produção de pigmento amarelo, e o alelo **C** condiciona a produção de melanina, que resulta em penas pretas ou azuladas, em um fenótipo rajado. Observe nas figuras abaixo os quatro fenótipos possíveis (os periquitos medem cerca de 13 cm de comprimento).



Periquito verde e amarelo  
 $B\_C\_$



Periquito azul rajado  
 $bbC\_$



Periquito amarelo  
 $B\_cc$



Periquito branco  
 $bbcc$

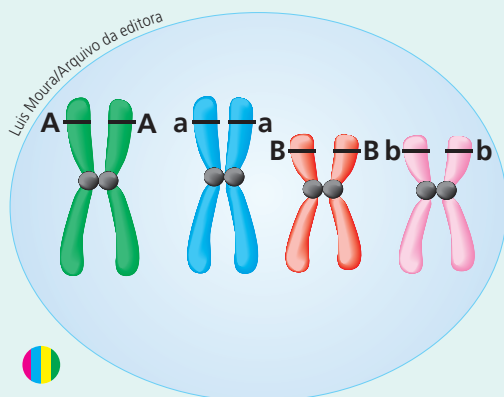
Imagens: Fabio Colombini/Acervo do fotógrafo

- a. Qual será a proporção fenotípica esperada para o cruzamento entre dois periquitos verdes e amarelos, híbridos para os dois pares de alelos?  
*4. a) 9 verde-amarelos : 3 amarelos : 3 azuis : 1 branco.*
  - b. Qual é a probabilidade de um casal de periquitos amarelos, que gerou um periquito branco, gerar uma nova ninhada contendo periquitos brancos?  
*4. b) 25%. Consulte o Manual.*
5. Em cobaias, o cruzamento de fêmeas e machos com mesmo fenótipo, pelo de cor parda e curto, produziram os seguintes descendentes:
    - 15 de pelo curto e amarelo;
    - 14 de pelo curto e branco;
    - 29 de pelo curto e pardo;
    - 5 de pelo longo e amarelo;
    - 9 de pelo longo e pardo;
    - 4 de pelo longo e branco.

5. a) O caráter cor da pelagem é um caso de ausência de dominância, pois na prole surgiu um fenótipo intermediário (amarelo) às pelagens parda e branca. O caráter tamanho dos pelos é um caso de dominância completa, havendo duas variações: pelos longos ou curtos.

Responda:

- a. O que podemos concluir sobre as relações de dominância existentes entre os alelos que determinam os caracteres cor e tamanho da pelagem? Justifique sua resposta.
  - b. Qual deve ser o genótipo correspondente ao fenótipo menos frequente na geração  $F_1$ ? Justifique sua resposta.
5. b) O fenótipo menos frequente é pelo longo e branco, tendo genótipo homozigótico recessivo para ambos os caracteres.
6. A ilustração a seguir representa dois pares de cromossomos homólogos de uma célula animal hipotética, na metáfase I da meiose. Lembre-se de que nessa etapa da meiose, os cromossomos encontram-se condensados e duplicados, ou seja, cada um formado por duas cromátides-irmãs.

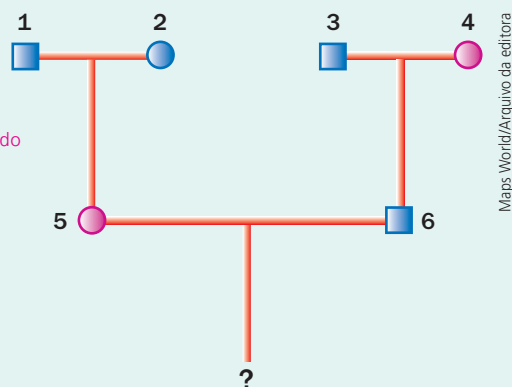


Relembre os conceitos relacionados à meiose. A partir da ilustração e dos seus conhecimentos, leia e resolva as questões abaixo:

6. a)  $AB$ ,  $Ab$ ,  $aB$ ,  $ab$ . Consulte o Manual.
- a. Na metáfase I, os cromossomos alinham-se no equador da célula e, em seguida, na anáfase I, ocorre a separação dos homólogos em duas células-filhas. Desenhe em seu caderno as duas células-filhas que resultariam da anáfase I dessa célula hipotética, representando os cromossomos e os alelos herdados por cada uma, nos moldes da ilustração anterior. Se houver mais de uma possibilidade em relação à distribuição dos homólogos, represente todas as possibilidades.
  - b. Ao final da segunda divisão meiótica, observa-se como resultado quatro células-filhas haploides, apresentando cromossomos simples (não duplicados). Essas células originarão gametas. Represente em seu caderno essas células haploides, com seus cromossomos e alelos. Na questão (a), você deve ter encontrado duas possibilidades na distribuição dos homólogos na meiose I; represente, assim, os oito gametas que poderiam ser formados a partir da célula original diploide.

6. b) 8 possibilidades, sendo 2 gametas de cada tipo:  $AB$ ,  $Ab$ ,  $aB$  e  $ab$ . Consulte o Manual.

7. Vamos considerar duas características com segregação independente: grupos sanguíneos do sistema ABO e miopia. Observe o heredograma abaixo:



Maps World/Arquivo da editora

Sabe-se que os indivíduos 1, 2 e 3 pertencem ao grupo O, o indivíduo 4 ao grupo AB e que 4 e 5 são míopes.

Qual é a probabilidade de o casal formado por 5 e 6 ter uma criança do grupo O e míope?

7. 1/4. Consulte o Manual.

## Trabalhando com gráficos

8. Os dados a seguir são hipotéticos e representam a ocorrência dos grupos sanguíneos dos sistemas ABO e Rh em uma população:

- grupo O – 48%
- grupo A – 42%
- grupo B – 8%
- Rh positivo – 85%

Com esses dados, é possível determinar a taxa de incidência de indivíduos que pertençam a um determinado grupo sanguíneo e que sejam ao mesmo tempo Rh positivos ou Rh negativos. Sabe-se que os alelos que condicionam o grupo ABO não se localizam no mesmo par de cromossomos homólogos dos alelos que condicionam a produção ou não de fator Rh.

Atenção: quando o resultado obtido não for um número inteiro, você deve fornecer valores aproximados inteiros como resposta. Por exemplo: se 12,5% da população pertence a uma determinada categoria, isso significa que 12 ou 13 pessoas pertencem àquele grupo.

8. a) Consulte o Manual.

- a. Calcule as probabilidades de ocorrência na população dos seguintes grupos sanguíneos: O Rh<sup>+</sup>, A Rh<sup>+</sup>, B Rh<sup>+</sup>, AB Rh<sup>+</sup>, O Rh<sup>-</sup>, A Rh<sup>-</sup>, B Rh<sup>-</sup> e AB Rh<sup>-</sup>.



- b.** Agora, com base nessas taxas, faça um gráfico para visualizar essas oito possibilidades. Converse com seus colegas e com o professor a respeito do tipo de gráfico que vocês acham ser mais adequado para esse caso. **8. b) Consulte o Manual.**

## Ciência, Tecnologia e Sociedade

- 9.** Releia o texto “As leis da Genética e a economia humana”, na seção *Leitura* deste capítulo. A obtenção de variedades de plantas com crescimento mais rápido, mais resistentes a doenças e a variações climáticas, entre outras características, é considerada uma contribuição da Ciência para resolver o problema da fome em diversas partes do mundo. Plantas selecionadas e geneticamente modificadas para maior produção têm sido destinadas a programas de combate à fome? Quais são as vantagens e desvantagens no cultivo dessas plantas? Procure informações a respeito deste tema e depois, na data combinada com seu professor, reúna-se com seus colegas para discuti-lo. **9. Veja comentários no Manual.**

## Questões do Enem e de vestibulares

- 10.** (Unifesp) Considere dois genes e seus respectivos alelos: **A** e **a**; **B** e **b**. Em termos de localização cromossômica, explique o que significa dizer que esses dois genes:

- a.** segregam-se independentemente na formação dos gametas.  
**b.** estão ligados.

- 11.** (Unifor-CE) Em certa espécie vegetal, o gene dominante **B** condiciona plantas altas e seu alelo recessivo **b** condiciona plantas baixas. O gene **A** condiciona flores brancas e é dominante sobre o gene **a**, que condiciona flores amarelas. Cruzaram-se entre si plantas altas com flores brancas, heterozigotas para ambos os pares de genes e obtiveram-se 320 descendentes. Desses, espera-se que o número de plantas baixas com flores brancas seja:

- a.** 20  
**b.** 60 **11. b**  
**c.** 180  
**d.** 240  
**e.** 320

10. a) Os dois pares de alelos localizam-se em pares distintos de cromossomos homólogos, obedecendo, na meiose, à Segunda Lei de Mendel.

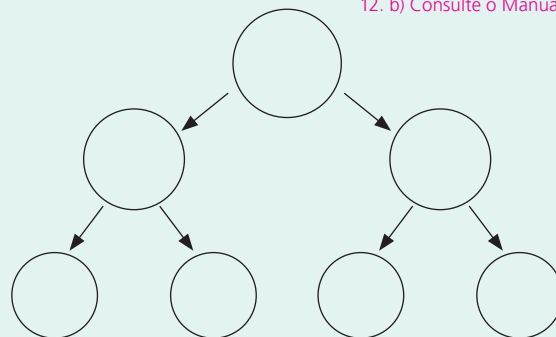
- 12.** (Unifesp-mod.) A Síndrome de Down caracteriza-se pela presença de um cromossomo 21 a mais nas células dos indivíduos afetados. Esse problema pode ser decorrente da não disjunção do cromossomo 21 em dois momentos durante a formação dos gametas. Considerando a ocorrência de tal não disjunção, responda.

- a.** Em quais momentos ela pode ocorrer?

**12. a)** Durante a meiose I ou durante a meiose II.

- b.** Copie em seu caderno os contornos abaixo; utilize os contornos para representar uma das duas possibilidades, indicando qual delas foi escolhida para ser representada.

**12. b)** Consulte o Manual.



Equipe NATH/Arquivo da editora

- 13.** (Unesp) Em um concurso de cães, duas características são condicionadas por genes dominantes (**A** e **B**). O homozigoto dominante para estas duas características recebe mais pontos que os heterozigotos e estes, mais pontos que os recessivos, que ganham nota zero. Um criador, desejando participar do concurso, cruzou um macho e uma fêmea, ambos heterozigotos para os dois genes, obtendo uma descendência com todos os genótipos possíveis.

- a.** Qual a probabilidade do criador obter um animal com pontuação máxima? Qual a probabilidade de obter um animal homozigoto recessivo para os dois genes?

**13. a)** 1/16. Consulte o Manual.

- b.** Considerando que todos os descendentes do referido cruzamento participaram do concurso, e que cada gene dominante contribui com 5 pontos na premiação, quantos pontos devem ter obtido os vice-campeões e os cães classificados em penúltimo lugar?

**13. b)** Consulte o Manual.

- 14.** (UEL-PR) Na espécie humana, a miopia e a habilidade para a mão esquerda são caracteres condicionados por genes recessivos que se segregam de forma independente. Um homem de visão normal e destro, cujo pai tinha miopia e era canhoto, casa-se com uma mulher míope e destra, cuja mãe era canhota. Qual a probabilidade de esse casal ter uma criança com fenótipo igual ao do pai?

10. b) Na ligação gênica, os pares de alelos situam-se no mesmo par de cromossomos homólogos.

14. e) O pai da criança tem genótipo di-híbrido ( $AaBb$ ) e a mãe, híbrida para o caráter visão ( $Aabb$ ). Probabilidade de a criança ter visão normal ( $AA$  ou  $Aa$ ) =  $3/4$ . Probabilidade de a criança ser destra ( $Bb$ ):  $1/2$ . Multiplicando-se as probabilidades =  $3/4 \times 1/2 = 3/8$ .

a.  $1/2$

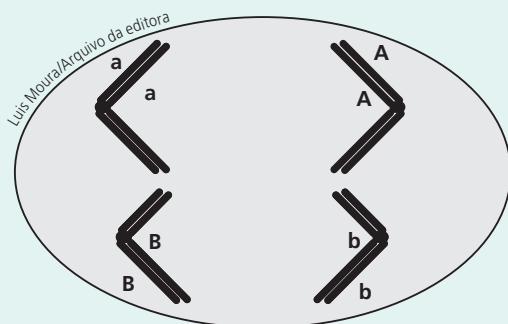
c.  $1/8$

e.  $3/8$

b.  $1/4$

d.  $3/4$

15. (UFSCar-SP) A figura mostra a segregação de dois pares de cromossomos homólogos na anáfase da primeira divisão meiótica de uma célula testicular de um animal heterozigótico quanto a dois genes. As localizações dos alelos desses genes, identificados pelas letras  $Aa$  e  $Bb$ , estão indicadas nos cromossomos representados no desenho.



15. a) As quatro células haploides geradas terão genótipos  $aB$  e  $Ab$ .

- a. Ao final da segunda divisão meiótica dessa célula, quais serão os genótipos das quatro células haploides geradas?

15. b) 25% para cada um dos genótipos:  $AB$ ,  $Ab$ ,  $aB$  e  $ab$ .

- b. Considerando o conjunto total de espermatozoides produzidos por esse animal, quais serão seus genótipos e em que proporção espera-se que eles sejam produzidos?

16. (UFU-MG) Na espécie humana, assim como em todas as outras espécies de seres vivos, existem vários fenótipos dos quais as heranças provêm de um par de alelos com relação de dominância completa. Dentre esses fenótipos podem ser citados:

16. 1/32. Consulte o Manual.

- I. sensibilidade gustativa para feniltiocarbamida (PTC) é dominante sobre a não sensibilidade;
- II. a forma do lobo da orelha, lobo solto é dominante sobre o lobo aderente;
- III. a capacidade de dobrar a língua dominante sobre a incapacidade de fazê-lo. Um casal, cujo marido tem lobo da orelha aderente, é heterozigoto para a sensibilidade ao PTC e não é capaz de dobrar a língua. A esposa tem heterozigose para a forma do lobo da orelha, para a sensibilidade ao PTC e para a capacidade de dobrar a língua.

Com base nesses conhecimentos, qual é a probabilidade deste casal ter uma criança masculina e com lobo da orelha aderente, não sensível ao PTC e não ser capaz de dobrar a língua?

17. (Unifor-CE) Em *Drosophila melanogaster*, asa reduzida é condicionada por um gene autossômico recessivo e

17. 95 indivíduos com asa reduzida e corpo escuro ( $nnc$ ). Consulte o Manual.

asa normal, pelo seu alelo dominante; corpo escuro é devido a um gene autossômico recessivo e corpo claro, ao seu alelo dominante. Os pares de genes que condicionam esses caracteres têm segregação independente. O cruzamento de fêmeas de asa normal e corpo claro com machos de asa reduzida e corpo escuro originou 380 descendentes, alguns dos quais com asa reduzida e corpo escuro. Qual é o número esperado de moscas com essas características na descendência?

18. (UFPR) Considere os seguintes genes em seres humanos:

$A_{-}$  – Olho escuro

$aa$  – Olho claro

$B_{-}$  – Cabelo crespo

$bb$  – Cabelo liso

$P$  – Polidactilia

$pp$  – Dedos normais

18. 1/8. Consulte o Manual.

Se um homem  $AABbPp$  se casa com uma mulher  $aabbPp$ , qual a probabilidade de um descendente desse casal apresentar olhos escuros, cabelos lisos e dedos normais?

19. (Enem-2011) Quando adquirimos frutas no comércio, observamos com mais frequência frutas sem ou com poucas sementes. Essas frutas têm grande apelo comercial e são preferidas por uma parcela cada vez maior da população. Em plantas que normalmente são diploides, isto é, apresentam dois cromossomos de cada par, uma das maneiras de produzir frutas sem sementes é gerar plantas com uma ploidia diferente de dois, geralmente triploide. Uma das técnicas de produção dessas plantas triploides é a geração de uma planta tetraploide (com 4 conjuntos de cromossomos), que produz gametas diploides e promove a reprodução dessa planta com uma planta diploide normal.

A planta triploide oriunda desse cruzamento apresentará uma grande dificuldade de gerar gametas viáveis, pois como a segregação dos cromossomos homólogos na meiose I é aleatória e independente, espera-se que:

- a. os gametas gerados sejam diploides.
- b. as cromátides-irmãs sejam separadas ao final desse evento.
- c. o número de cromossomos encontrados no gameta seja 23.
- d. um cromossomo de cada par seja direcionado para uma célula-filha.
- e. um gameta raramente terá o número correto de cromossomos da espécie. 19. e

## 1 Introdução

Cerca de vinte anos após a morte de Mendel, quando os processos de divisão celular começaram a ser desvendados, percebeu-se que os “fatores” responsáveis pela hereditariedade deveriam estar relacionados aos cromossomos, transmitidos para os gametas pela divisão celular. No início do século XX, alguns cientistas, trabalhando com experimentos sobre hereditariedade, vieram a conhecer os registros que Mendel havia feito e que permitiam explicar os resultados que eles haviam observado. O trabalho de Mendel tornou-se então conhecido do mundo científico, e a “herança mendeliana”, como ficaram conhecidas as leis de segregação independente, tornou-se a base dos estudos em genética e também em evolução, como veremos na unidade 3. O monge Gregor Mendel, em uma homenagem póstuma, passou a ser chamado de “pai da Genética”.

Surgiram também observações e experimentos com resultados de cruzamentos que passaram a ampliar os conhecimentos sobre os mecanismos da herança genética, pois havia casos em que as proporções fenotípicas obtidas em alguns cruzamentos não eram iguais àsquelas previstas para os casos de segregação independente.

Vamos analisar, então, neste capítulo, os mecanismos relacionados com as alterações verificadas nas proporções fenotípicas mendelianas esperadas em certos cruzamentos.

## 2 Pleiotropia e interação gênica

Os casos estudados até agora consideravam cada caráter condicionado por um par de alelos ou por alelos múltiplos – neste último caso, sempre ocorrendo dois alelos do gene em questão em cada indivíduo. No entanto, a herança de diversos caracteres não se explica sempre dessa forma. Existem, por exemplo, dois casos de herança opostos entre si:

- › **pleiotropia** – um par de alelos condiciona mais de um caráter;
- › **interação gênica** – um caráter é condicionado por mais de um par de alelos. Os casos de interação gênica que serão analisados aqui vão se referir apenas a caracteres determinados por dois pares de alelos.

✓ A herança da cor dos pelos em cães labradores é um caso de **interação gênica**: dois locos gênicos distintos estão envolvidos na determinação dessa característica. Os cães dessa raça medem cerca de 60 cm de altura.



Mark Raycroft/Minden pictures/Getty Images



## 2.1 Um caso de pleiotropia

Cebolas vermelhas são resistentes à ação de determinado fungo parasita; cebolas brancas não são. Sabe-se hoje que um alelo recessivo é o responsável ao mesmo tempo pela cor vermelha e pela produção de uma substância fungicida. Assim, cebolas vermelhas não sofrem a ação desses parasitas.

Trata-se de um caso de **pleiotropia**, pois um único alelo, quando em dose dupla (homozigose), é o responsável por dois caracteres: a cor da cebola e a produção da substância fungicida.

Representando por *V* o alelo dominante, que condiciona o caráter cebola branca, e por *v* o alelo recessivo, que condiciona a cor vermelha e a produção da substância antifúngica, o genótipo das cebolas vermelhas, que possuem resistência ao fungo, é *vv*.



## 2.2 Um caso de interação gênica

Vejam agora um caso de **interação gênica**: a herança da forma da crista de galináceos. A forma da crista depende de dois pares de alelos, sendo que um deles localiza-se em um par de cromossomos homólogos e o outro situa-se em outro par de cromossomos homólogos.

Em um par, situam-se os alelos *E* (dominante), e (recessivo). São três, portanto, as possibilidades genóticas: *EE*, *Ee* ou *ee*.

No outro par de cromossomos homólogos situam-se os alelos *R* (dominante) e *r* (recessivo). Os genótipos possíveis são: *RR*, *Rr* ou *rr*.

Cada par de alelos segrega-se independentemente na formação de gametas, de acordo com a Primeira Lei de Mendel.

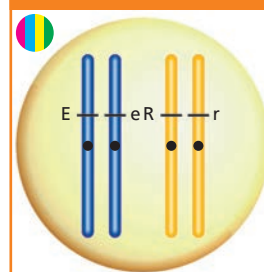
Como os dois pares de alelos situam-se em diferentes cromossomos homólogos, eles separam-se independentemente de acordo com a Segunda Lei de Mendel. Podem ocorrer, portanto, até nove possibilidades genóticas, número máximo que resulta de um cruzamento entre di-híbridos, ainda de acordo com a Segunda Lei de Mendel, que você já conhece. Veja:

- › genótipo dos di-híbridos – *RrEe* (fêmea) × *RrEe* (macho)
- › gametas femininos (óvulos) – *RE*; *Re*; *rE*; *re*
- › gametas masculinos (espermatozoides) – *RE*; *Re*; *rE*; *re*

### ^ Cebolas brancas e vermelhas:

a cor é determinada pelo mesmo gene relacionado à produção de uma substância fungicida. Trata-se de um caso de **pleiotropia**.

### Genótipo *RrEe*



Luís Moura/Arquivo da editora

^ Esquema representando o genótipo *RrEe*. Os pares de alelos *E/e* e *R/r* determinam a forma da crista em galináceos e estão localizados em pares de cromossomos homólogos distintos (aqui representados de forma muito simplificada pelas barras coloridas).





RrEe × RrEe				
Espermatozoides Óvulos	RE	Re	rE	re
RE	RREE	RREe	RrEE	RrEe
Re	RREe	RRee	RrEe	Rree
rE	RrEE	RrEe	rrEE	rrEe
re	RrEe	Rree	rrEe	rr ee

Como mostra o quadro da página anterior, os genótipos possíveis para a geração descendente são nove: *RREE*, *RrEE*, *RREe*, *RrEe*, *RRee*, *Rree*, *rrEE*, *rrEe*, *rree*.

Alguns desses genótipos aparecem mais de uma vez, pois são dezesseis as possibilidades a partir do cruzamento entre dois di-híbridos.

Esses nove genótipos condicionam quatro fenótipos, conforme mostra o quadro abaixo. Os quatro fenótipos correspondem a quatro diferentes tipos de cristas, conhecidos por *noz*, *rosa*, *ervilha* e *simples*. Esses fenótipos resultam da interação de dois pares de alelos, situados cada um em um par de cromossomos homólogos.

➤ Quadro mostrando os possíveis **genótipos** resultantes do cruzamento entre dois di-híbridos para forma da crista (*RrEe* × *RrEe*) e os **fenótipos** condicionados por eles.

Relação entre genótipo e fenótipo no caráter “forma da crista”	
Genótipo	Fenótipo
<i>RREE</i> <i>RrEE</i> <i>RREe</i> <i>RrEe</i>	Noz 
<i>RRee</i> <i>Rree</i>	Rosa 
<i>rrEE</i> <i>rrEe</i>	Ervilha 
<i>rree</i>	Simples 


Imagens: Photodisc/Arquivo da editora

Como mostra o quadro acima, há um tipo de crista condicionado por genótipos que contêm, todos eles, pelo menos um alelo *E* e um alelo *R*. Essa crista é do tipo *noz*. Por essa razão, podemos representar por *R\_E\_* o genótipo que condiciona a crista *noz*.


Usando o mesmo raciocínio, podemos concluir qual tipo de crista é condicionado na presença de certos alelos. Acompanhe no quadro a seguir a ocorrência dos genótipos resultantes do cruzamento de di-híbridos quanto ao caráter forma da crista.

	Tipo de crista			
	Noz	Rosa	Ervilha	Simples
Genótipos	<i>R_E_</i>	<i>R_ee</i>	<i>rrE_</i>	<i>rree</i>
Ocorrência	9	3	3	1

Os dois pares de alelos (*E/e* ; *R/r*) interagem na determinação do caráter forma da crista. Comparando o quadro acima com o anterior, você pode perceber que a proporção fenotípica obtida a partir do cruzamento de di-híbridos é igual à observada em casos de Segunda Lei de Mendel (9 : 3 : 3 : 1). No entanto, a Segunda Lei de Mendel é válida para pares de alelos com segregação independente que determinam caracteres distintos, e não apenas um caráter, como no caso das cristas de galináceos.


**MULTIMÍDIA**

**2ª Lei de Mendel**  
<<http://www.planeabioc.com/lei2.html>>



Com este infográfico interativo você poderá comparar os casos de herança genética explicados pela Segunda Lei de Mendel, epistasia, interação gênica e herança quantitativa.

Acesso em: 11 abr. 2016.

## 2.3 Outros casos de interação gênica

### Epistasia

Na **epistasia**, dois ou mais locos gênicos atuam juntos na determinação de apenas um caráter, porém um deles inibe a expressão dos alelos localizados nos outros locos. Nesse caso, a proporção fenotípica observada para o cruzamento de di-híbridos nunca é igual a 9: 3: 3: 1. Haveria redução no número de classes fenotípicas em relação ao esperado se fosse um caso de Segunda Lei de Mendel.

Vamos analisar um exemplo de epistasia no qual um par de alelos recessivos inibe a expressão de um outro par de alelos, localizado em outro par de cromossomos homólogos. Esse fenômeno ocorre na determinação da cor da pelagem em camundongos.

Os alelos *P* e *p* determinam a cor dos pelos e estão situados em um par de cromossomos homólogos, resultando em três genótipos possíveis: *PP*, *Pp* e *pp*. O alelo *P* condiciona a pelagem aguti (acinzentada) e *p* condiciona a pelagem preta quando em homozigose (*pp*).

Existe, no entanto, um par de alelos (*C/c*), localizado em outro par de cromossomos homólogos, que condiciona a produção de substâncias que permitem a síntese dos pigmentos para a pelagem.

Portadores do alelo dominante *C* produzem pigmentos, podendo apresentar fenótipo aguti ou preto. Já os portadores de genótipo *cc* não produzem as substâncias necessárias à síntese de pigmentos e resultam o fenótipo albino (pelos brancos, sem pigmentos). Dizemos que o par *cc* é epistático sobre o par de alelos formado por *P/p*, o que significa que ele inibe a expressão desse último par.

Não podemos afirmar que o par *cc* é dominante sobre o outro par de alelos, e sim que *cc* é epistático em relação ao outro par. A relação de dominância e recessividade pode existir entre alelos de um mesmo gene – o alelo *C* é dominante sobre *c*. O que ocorre na epistasia é a interação de um par de alelos (ou apenas um dos alelos do par) com outro par, localizado em cromossomos homólogos distintos.

No cruzamento entre dois camundongos di-híbridos de pelagem aguti, espera-se obter a seguinte proporção de descendentes, a partir de 16 possibilidades: 9 agutis, 3 pretos e 4 albinos.

Como chegamos a esses resultados?

Já sabemos que do cruzamento entre di-híbridos com segregação independente temos como resultado os seguintes genótipos e respectivas proporções:

$$9 C\_P\_ : 3 C\_pp : 3 ccP\_ : 1 ccpp$$

Estando presente o alelo *C* há síntese de pigmento. O alelo *C* junto com o alelo *P* condiciona a produção do pigmento que dá origem à pelagem aguti. Isso ocorre em 9 entre 16 dos descendentes (genótipo *C\\_P\\_*).

O alelo *C* junto com os alelos recessivos *pp* condiciona a síntese do pigmento preto. Isso ocorre em 3 entre 16 dos descendentes (genótipo *C\\_pp*).



pelagem preta



pelagem aguti



pelagem branca  
(fenótipo albino)

↗ A herança da cor da pelagem em camundongos é um caso de **epistasia**. O camundongo mede cerca de 8 cm de comprimento, sem considerar a cauda.





## CURIOSIDADE

A herança da cor da pelagem em cães labradores, mostrados no início deste capítulo, é um caso de epistasia recessiva.

SUGESTÃO  
DE ATIVIDADE

Estando presentes os alelos recessivos  $cc$  não há síntese de pigmentos. Assim, tanto faz estar presente o alelo  $P$  ou os recessivos  $pp$  no outro loco gênico, pois o fenótipo será o mesmo: albino. Isso ocorre em 4 entre 16 dos descendentes.

Há, assim, redução do número de classes fenotípicas em relação ao que seria observado em um caso de di-hibridismo em que não ocorre epistasia. Nesse tipo de epistasia, a proporção entre as classes fenotípicas na descendência do cruzamento entre di-híbridos é 9: 3: 4, como você pode verificar no quadro a seguir.

Fenótipos	Pelagem aguti	Pelagem preta	Pelagem albina
Genótipos	$C\_P\_$	$C\_pp$	$ccP\_ \text{ ou } ccpp$
Ocorrência	9	3	$\frac{3 + 1}{4}$

Existem outros casos de epistasia, como aqueles em que o alelo epistático é o alelo dominante. Existem ainda os casos de epistasia recessiva duplicada, em que os dois pares de alelos podem exercer influência sobre o outro, quando estão em homozigose recessiva. Considerando, por exemplo, os pares de alelos  $A/a$  e  $B/b$ , a condição homozigótica recessiva  $aa$  inibe o efeito de  $B$  e  $b$ , da mesma forma que  $bb$  inibe a ação de  $A$  ou  $a$  – assim, quando os pares  $aa$  ou  $bb$  ocorrem no genótipo, o fenótipo é o mesmo.

Esses outros exemplos não serão analisados aqui, mas você já tem condições de reconhecer um caso de epistasia: dois pares de alelos, localizados em cromossomos homólogos distintos, determinam apenas um caráter, sendo que um par de alelos ou um alelo do par pode inibir o “efeito” do outro par de alelos envolvido.

O caso da herança da forma da crista de galináceos (que vimos anteriormente) é um exemplo de interação gênica não epistática.



Bryan Muller/Getty Images

## Herança quantitativa

Os fenótipos dos caracteres analisados até agora são bem definidos, por exemplo, a cor da semente de ervilha, que pode ser verde ou amarela (caráter determinado por um par de alelos). Nesses casos, fala-se em variações fenotípicas descontínuas.

Existem, entretanto, certos caracteres cujos fenótipos apresentam variações contínuas, como é o caso da cor da pele humana, em que os fenótipos variam de forma contínua do branco ao negro. Nesses casos, o caráter é transmitido por **herança quantitativa**, que também é um caso de interação gênica.

Dois ou mais pares de alelos situados em diferentes pares de cromossomos homólogos somam seus “efeitos”, de tal forma que o fenótipo vai depender da quantidade de alelos que efetivamente contribuem com o efeito cumulativo no caráter considerado. A relação entre os alelos de cada gene não é de simples dominância e recessividade.

Existem alelos que contribuem para a modificação do fenótipo, representados por letras maiúsculas, e alelos que não contribuem para a modificação do fenótipo, representados por letras minúsculas. Cada alelo representado por letra maiúscula contribui igualmente na modificação fenotípica.

↗ A herança da cor dos frutos de abóbora é um caso de **epistasia dominante**. Um par de alelos condiciona a produção de pigmentos, gerando frutos verdes ou amarelos, mas a presença do alelo dominante de outro gene inibe a produção de pigmentos nos frutos, resultando na variedade branca.

Veja no Manual comentários a respeito da herança da cor da pele na espécie humana.

Vamos analisar então a herança da cor da pele humana. Existem evidências de que a cor da pele seja determinada por pelo menos dois pares de alelos, que se localizam, cada um, em um par de cromossomos homólogos.

Recorrendo às iniciais das palavras *negro* e *branco*, vamos representar esses alelos pelas letras *N* e *B*, onde as letras maiúsculas representam os **alelos efetivos**, que contribuem igualmente para o aumento na produção do pigmento melanina por células da pele chamadas melanócitos. Os alelos *n* e *b* são chamados **não efetivos**, pois condicionam a síntese de melanina apenas em uma quantidade mínima.

O fenótipo negro é puro e condicionado pelo genótipo *NNBB*, ou seja, homozigótico constituído somente pelos alelos efetivos. Cada um desses alelos contribui igualmente para a síntese de melanina, de maneira que a cor da pele será o resultado da soma da ação desses alelos (efeito cumulativo).

O fenótipo branco também é puro, porém condicionado pelo genótipo *nnbb*, constituído somente pelos alelos não efetivos. Os indivíduos de pele branca possuem melanina na pele, pois esses alelos determinam um nível basal de síntese de pigmentos, mas em quantidade menor em relação aos demais fenótipos para a cor da pele.



#### RECORDE-SE

##### Interação gênica

Dois ou mais pares de alelos determinam apenas um caráter. Exemplos:

- **epistasia:** um par de alelos inibe a expressão dos outros alelos envolvidos;
- **herança quantitativa:** pares de alelos têm efeito cumulativo na expressão do caráter, determinando fenótipo com variações contínuas.

#### Fenótipos da cor da pele humana

Genótipos	Alelos efetivos	Alelos não efetivos	Negro	Mulato escuro	Mulato médio	Mulato claro	Branco
<i>NNBB</i>	4	0	X				
<i>NNBb</i> <i>NnBB</i>	3	1		X			
<i>NNbb</i> <i>NnBb</i> <i>nnBB</i>	2	2			X		
<i>nnBb</i> <i>Nnbb</i>	1	3				X	
<i>nnbb</i>	0	4					X



#### REÚNA-SE COM OS COLEGAS

A melanina é o pigmento que dá cor à pele, aos pelos, cabelos e à íris. Ela atua como um bloqueio aos raios ultravioleta que fazem parte da radiação solar. A exposição ao sol estimula a produção de maior quantidade de melanina pelos melanócitos, gerando o aspecto bronzeado da pele. O bronzeamento acelera o envelhecimento da pele e aumenta o risco do câncer melanoma. Com um colega, pesquise a respeito desse tema, buscando informações sobre a relação entre a pele e a camada de ozônio da atmosfera, a importância do filtro solar, o que é o melanoma e de que forma pode ser evitado. Elaborem um infográfico, unindo imagens e textos curtos, a partir das informações pesquisadas. Exponham o infográfico nos corredores da escola, para que os demais alunos da escola possam saber mais sobre esse tema. [Veja informações no Manual.](#)



Vitória Ang/Acervo da fotografia

◀ A herança da cor da pele humana é um caso de **herança quantitativa**.

Veja sugestão de atividade abordando o albinismo na página 197, ao final do capítulo.

Quanto maior o número de alelos relacionados à síntese de pigmentos (alelos efetivos), mais escura será a pele; inversamente, quanto maior for a quantidade de alelos que não condicionam a produção de pigmentos (alelos não efetivos), mais clara será a cor da pele.

Ainda na espécie humana, há muitos outros casos de herança quantitativa, como a determinação da estatura e da cor dos olhos.



### ATENÇÃO

Não confunda o fenótipo branco com o **fenótipo albino**. A condição albina ocorre em outras espécies, além da espécie humana, e corresponde à ausência de pigmentos na pele. Quando a espécie possui um fenótipo branco, ele é resultado da produção de pigmentos, embora em quantidade menor que a dos outros fenótipos para cor da pele.

No início do século XX, a herança do **albinismo** na espécie humana foi descrita como um caso de monobridismo, com base na análise de genealogias. Atualmente, com a análise molecular, sabe-se que o fenótipo albino pode ser condicionado por mutações recessivas em diversos genes envolvidos na produção e no armazenamento de melanina na pele.

No entanto, para efeito do cálculo de probabilidades do surgimento de albinos, pode-se considerar, por simplificação, que o albinismo é condicionado por homozigose recessiva.

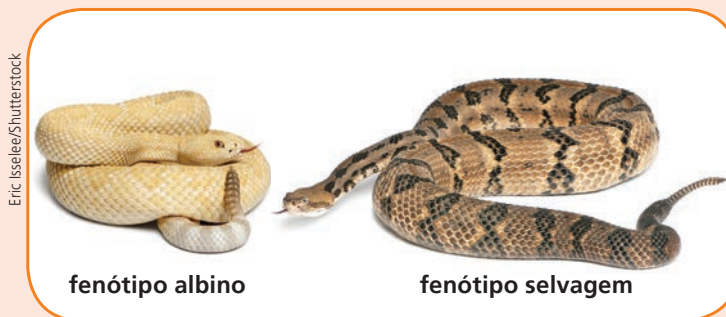
Fonte:

PIERCE, B. A. *Genetics: a conceptual approach*. 4. ed. New York: W. H. Freeman, 2010, p. 53-54.



TopFoto/Grupo Keystone

^ O jovem no centro da foto apresenta **fenótipo albino**.



Eric Isselee/Shutterstock

Eric Isselee/Shutterstock

**fenótipo albino**

**fenótipo selvagem**

^ Duas cascavéis, uma albina e outra fenótipo normal em relação à cor. A cascavel adulta mede cerca de 1,2 m de comprimento.



### MULTIMÍDIA

#### Genes ligados

< <http://teca.cecierj.edu.br/popUpVisualizar.php?id=49556> >

Nesta animação simples, conheça o trabalho do geneticista Thomas Morgan com mutações em moscas-da-fruta, que levou à identificação da herança genética por genes ligados.

Acesso em: 12 mar. 2016.



Reprodução

## 3 Vinculação ou ligação gênica

No estudo que fizemos até agora sobre hereditariedade, analisamos alelos localizados em diferentes pares de cromossomos homólogos. Assim, se considerarmos dois pares de alelos, cada um está localizado em um par de cromossomos homólogos, de segregação independente.

Em um mesmo cromossomo, no entanto, existem vários genes, que não se separam na formação dos gametas. Eles só se separam se ocorrer permutação.

Quando consideramos genes situados no mesmo cromossomo, dizemos que eles estão vinculados, referência à **vinculação** ou **ligação gênica**.

Atualmente, estão sendo mais utilizadas essas expressões da língua portuguesa, mas ainda é muito comum o uso de um termo em inglês para se referir ao fato de os genes estarem situados em um mesmo cromossomo: *linkage*, que possui o mesmo significado (o verbo *to link* significa "ligar").

Você já deve ter lido ou acompanhado na imprensa notícias sobre projetos para decifrar o **genoma** de algumas espécies, inclusive o genoma humano. Descobriu-se que o ser humano, em seus 23 pares de cromossomos, possui cerca de 30 mil genes. Você pode concluir, por essa informação, que cada cromossomo contém muitos genes, que estão vinculados uns aos outros por localizarem-se no mesmo cromossomo.

Em relação ao link sugerido em Multimídia, se houver dificuldade para abrir a animação, sugira aos alunos entrar no site principal e inserir a palavra "Morgan" na busca. Disponível em: <<http://teca.cecierj.edu.br/>>. Acesso em: 12 mar. 2016.



O esquema ao lado mostra um par de cromossomos homólogos, representados em cores diferentes apenas para facilitar o entendimento, com dois pares de alelos ( $A/a$  e  $B/b$ ). Nesse esquema,  $A$  e  $B$  são genes ligados, bem como  $a$  e  $b$ .

Como o alelo  $A$  está ligado ao alelo  $B$  e o alelo  $a$  está ligado ao  $b$ , são formados dois tipos de gametas, quanto a esses alelos, por meiose. Um dos dois tipos possíveis de gametas é portador do cromossomo que contém os alelos  $A$  e  $B$ ; o outro tipo é o portador do cromossomo que contém os alelos  $a$  e  $b$ .

O esquema a seguir representa o resultado da meiose em uma célula diploide ( $2n = 2$ ), com os cromossomos e alelos que utilizamos no exemplo anterior. Os cromossomos estão duplicados e as etapas na meiose não estão representadas. Lembre-se que, na meiose, uma célula diploide origina quatro células haploides.

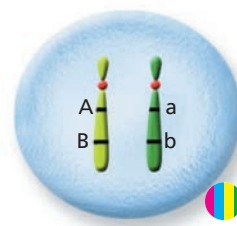
O esquema mostra a formação de gametas, evidenciando que somente dois tipos de gametas são possíveis no caso considerado: os que possuem os alelos  $A$  e  $B$  e os que possuem os alelos  $a$  e  $b$ .

Vejamos um exemplo real de ligação gênica.

A pequena mosca conhecida por drosófila ou mosca-das-frutas (*Drosophila melanogaster*), muito utilizada em experimentos de genética, pode apresentar dois fenótipos em relação ao caráter “cor do corpo”: cinza e preto, sendo o alelo que condiciona a cor cinza ( $P$ ) dominante em relação ao alelo que condiciona a cor preta ( $p$ ). Essa mosca apresenta também dois fenótipos em relação ao caráter “tamanho da asa”: asas normais e vestigiais, sendo o alelo que condiciona asa normal ( $V$ ) dominante em relação ao alelo que condiciona asa vestigial ( $v$ ).

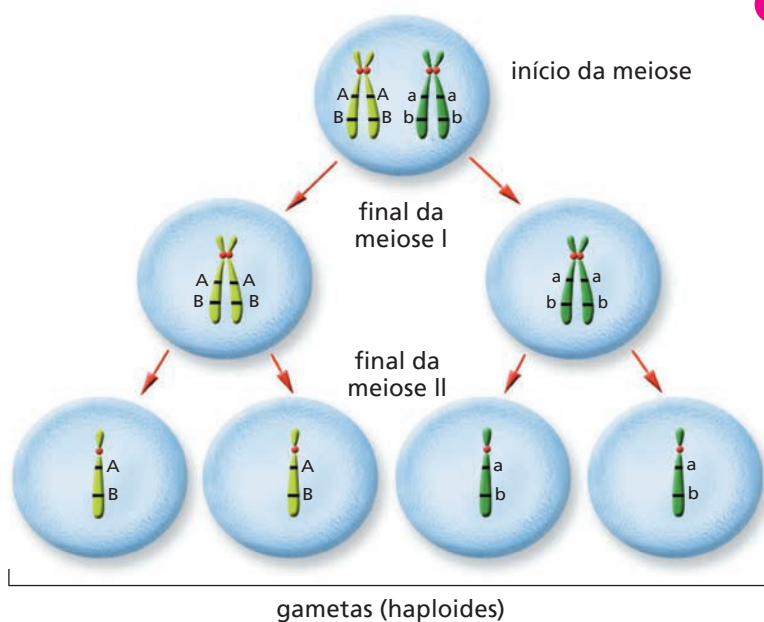
Esses dois pares de alelos, que condicionam cor do corpo e tamanho da asa, estão ligados, isto é, situam-se no mesmo par de cromossomos homólogos.

### Dois pares de alelos: $A/a$ e $B/b$



Luis Moura/Arquivo da editora

### Genes ligados (hipotéticos)



Luis Moura/Arquivo da editora

Esquema simplificado de algumas fases da **meiose**, mostrando o resultado na formação de gametas quando os genes estão vinculados.

### CURIOSIDADE



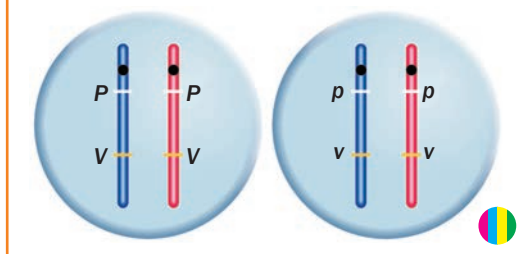
▲ Mosca-das-frutas com quatro asas.

As moscas são insetos da **ordem dos dípteros** (*di* = duas; *ptero* = asas) e possuem um par de asas. Há uma mutação em *Drosophila melanogaster* que altera quatro genes, condicionando o desenvolvimento de dois pares de asas.



▲ **Moscas-das-frutas** (*Drosophila melanogaster*). Medem cerca de 2-3 mm de comprimento. Os indivíduos desta foto apresentam asas normais.

Wotke, K./Arco Images GmbH

**P (geração parental):  $PPVV \times ppvv$** 

Esquema representando o **genótipo de geração parental** considerada e a distribuição dos alelos nos cromossomos.

Vamos considerar um casal de drosófilas em que ambos são homozigóticos nos dois pares de alelos: o macho apresenta corpo cinza e asas normais ( $PPVV$ ) e a fêmea, cor preta e asas vestigiais ( $ppvv$ ).

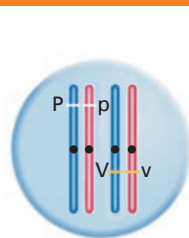
O cruzamento desses dois indivíduos resulta uma geração  $F_1$  formada apenas por moscas de cor cinza e asas normais, com genótipo  $PpVv$ .

Gametas:  $PV \times pv$

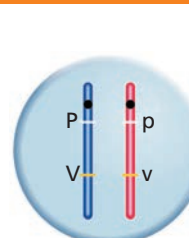
Geração  $F_1$ :  $PVpv$  (ou  $PpVv$ )

Vamos, agora, verificar como fica o resultado do cruzamento entre esses di-híbridos da geração  $F_1$ . Se esse cruzamento seguisse as leis de Mendel, observaríamos quatro fenótipos diferentes na geração  $F_2$ : cinza e asa normal, cinza e asa vestigial, preto e asa normal e preto e asa vestigial. Esses fenótipos corresponderiam a nove genótipos diferentes.

Esse resultado, no entanto, não ocorre, pois estamos diante de um caso de ligação gênica. Os dois pares de alelos estão localizados no mesmo par de cromossomos homólogos e não ocorre a segregação independente nesse caso. Veja a diferença a seguir.

**Segunda Lei de Mendel**

Se fosse um caso de Segunda Lei de Mendel, os dois pares de alelos estariam localizados em pares distintos de cromossomos homólogos, e seriam formados quatro tipos de gametas:  $PV$ ,  $Pv$ ,  $pV$  e  $pv$ .

**Ligação gênica**

No caso dos caracteres cor do corpo e tamanho da asa em drosófilas, os dois pares de alelos estão no mesmo par de cromossomos homólogos e formam-se apenas dois tipos de gametas:  $PV$  e  $pv$ .

No cruzamento de um casal de moscas com genótipo  $PpVv \times PpVv$ , sendo os dois genes ligados, ocorrem, na geração  $F_2$ , apenas três genótipos e dois fenótipos, como você pode verificar no quadro a seguir.

<b><math>PpVv \times PpVv</math></b>		
Gametas femininos \ Gametas masculinos	$PV$	$pv$
$PV$	 $PPVV$ (ou $PVPV$ ) Cinza/asa normal	 $PpVv$ (ou $PVpv$ ) Cinza/asa normal
$pv$	 $PpVv$ (ou $PVpv$ ) Cinza/asa normal	 $ppvv$ (ou $pvpv$ ) Preto/asa vestigial

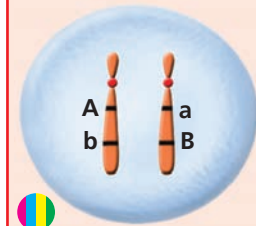
As proporções entre eles são:

$PVPV$  (25%),  $PVpv$  (50%) e  $pvpv$  (25%).

Os genótipos  $PVPV$  e  $PVpv$  condicionam corpo cinza e asas normais; o genótipo  $pvpv$  condiciona corpo preto e asas vestigiais.

**ATENÇÃO**

Poderíamos considerar também um caso em que o alelo  $A$  está vinculado ao alelo  $b$ , e o alelo  $a$  vinculado ao  $B$ . Os alelos dominantes não estão sempre localizados no mesmo cromossomo; isso depende do caso analisado.



Nesta situação, os gametas formados poderiam ser: os que possuem os alelos  $A$  e  $b$  e os que possuem  $a$  e  $B$ .

### 3.1 Ligação gênica e permutação

Antes da divisão celular, quando a célula está em interfase, ocorre a duplicação dos cromossomos, formando as cromátides-irmãs, que permanecem ligadas uma à outra pelo centrômero. Esta etapa é comum aos dois processos de divisão celular: mitose e meiose.

Na prófase I da meiose, ocorre o emparelhamento dos cromossomos homólogos, fato que não acontece na mitose. Os cromossomos se condensam e torna-se possível observar a **tétrade**, que é o conjunto das quatro cromátides, duas de cada cromossomo.

Quando consideramos uma cromátide originada de um dos cromossomos e uma cromátide de seu homólogo, dizemos que são cromátides homólogas.

Ainda durante a prófase I da meiose, duas cromátides homólogas podem sofrer ruptura nos mesmos locais e ocorrer a permuta de uma parte de sua estrutura, ficando cada uma com um fragmento da outra.

O processo descrito é chamado **permutação** ou *crossing-over*, expressão da língua inglesa.

A consequência do processo de permutação é uma **recombinação gênica**, pois a cromátide que sofreu permutação pode ficar com alelos diferentes daqueles que ela tinha antes da permutação.

Assim, as permutações alteram as proporções esperadas nos diferentes cruzamentos.

No caso das drosófilas, as permutações ocorrem somente nas fêmeas, e não na gametogênese dos machos. Para outros animais, a regra geral é que a permutação ocorra nos dois sexos.

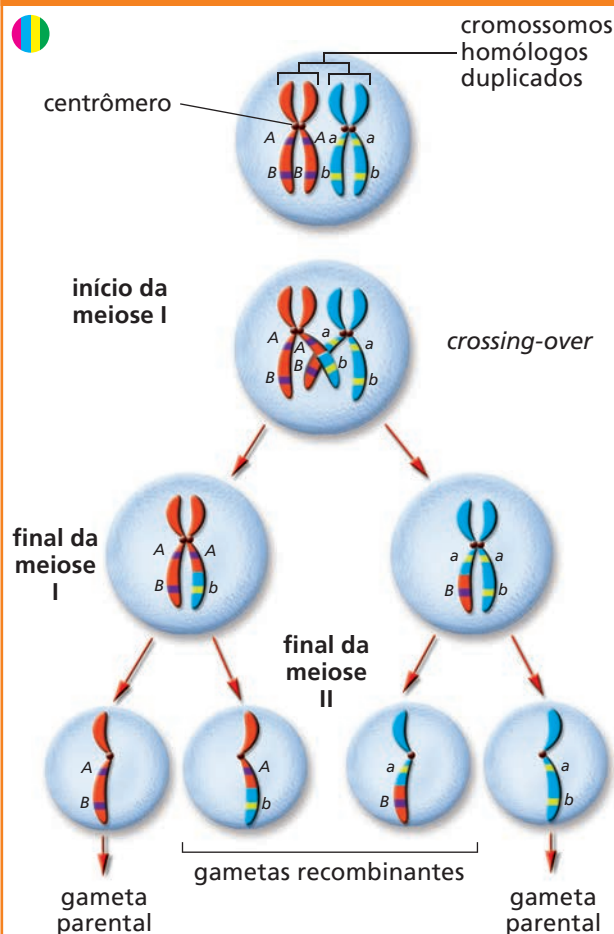
Vamos voltar ao caso da herança da cor do corpo e tamanho das asas em moscas drosófilas. Sem permutação, formam-se apenas dois fenótipos na geração obtida a partir do cruzamento de di-híbridos: cinza com asa normal (*PVPV* e *PVpv*) e preto com asa vestigial (*pvpv*). Esses genótipos derivam do encontro de apenas dois tipos de gametas: *PV* e *pv*. Esses gametas, que apresentam os genes ligados do mesmo modo que na célula inicial, são chamados gametas parentais.

Pode, no entanto, ocorrer permutação entre cromátides homólogas exatamente no trecho onde estão os locos de *PV* e *pv*. Em função da permutação surgem gametas recombinantes: *Pv* e *pV*. Assim, na geração  $F_2$ , apareceriam moscas de corpo cinza com asas vestigiais e moscas pretas com asas normais (fenótipos recombinantes).

A taxa de permutação entre genes ligados é influenciada pela distância que separa esses genes no cromossomo. Quanto mais distantes dois genes estiverem em um cromossomo, maior a probabilidade de que ocorra permutação entre eles.

✓ Esquema simplificado de algumas fases da meiose, mostrando o resultado na formação de gametas quando ocorre **permutação** (*crossing-over*). Os cromossomos homólogos foram representados em cores diferentes para facilitar sua distinção.

#### Formação de gametas recombinantes











Genetics Society of America, Orlando, Florida



▶ O geneticista **Thomas Hunt Morgan** (1866-1945) realizou experimentos envolvendo cruzamentos entre linhagens de *Drosophila* que foram fundamentais para compreender a herança com vinculação gênica.

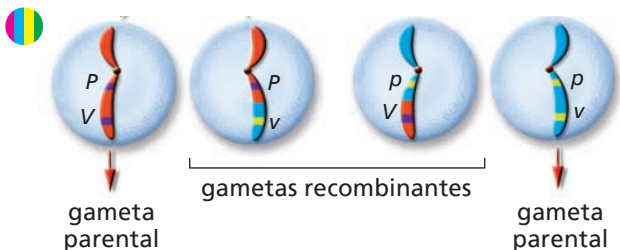
A distância entre genes ligados é medida em unidades chamadas **morganídeos**, nome dado em homenagem ao cientista Morgan, que no início do século XX realizou uma série de experimentos com drosófilas e desvendou o tipo de herança que hoje conhecemos como vinculação gênica. Essa distância corresponde à taxa de permutação, e seu valor corresponde à porcentagem de indivíduos (ou gametas) recombinantes formados.

Vamos analisar o exemplo das drosófilas novamente. Do cruzamento entre duas moscas cinzas com asas normais, heterozigóticas para os dois pares de alelos, obteve-se a seguinte geração:

 $PVpv \times PVpv$ 			
Fenótipos	Genótipos	Ocorrência	
 Cinza/asa normal	$PVPV$ ou $PVpv$	48%	96%: fenótipos parentais
 Preto/asa vestigial	$pvpv$	48%	
 Cinza/asa vestigial	$Ppvv$ – originou-se de gametas recombinantes	2%	4%: fenótipos recombinantes
 Preto/asa normal	$ppVv$ – originou-se de gametas recombinantes	2%	

Ilustrações: Osvaldo Sequeitini/Arquivo da editora

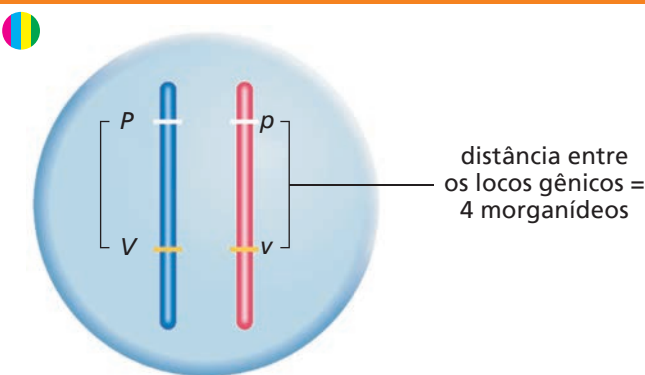
### Gametas parentais e recombinantes



Verifique na tabela que as proporções fenotípicas não estão de acordo com o esperado para a Segunda Lei de Mendel, nem com o esperado para casos de ligação gênica sem permutação. A explicação para este resultado é a ocorrência de permutação entre os pares de alelos  $P/p$  e  $V/v$ , formando gametas recombinantes, representados no esquema ao lado, de modo simplificado.

A porcentagem de recombinação foi, nesse exemplo hipotético, de 4%. Isso significa que a distância entre os pares de alelos  $P/p$  e  $V/v$  no cromossomo é de 4 morganídeos.

### Distância entre dois genes hipotéticos



▶ As barras azul e vermelha representam apenas um segmento dos cromossomos onde os genes estariam localizados.

### RECORDE-SE

#### Meiose

Divisão celular em que há produção de quatro células haploides a partir de uma célula diploide. Nos animais, ela ocorre na formação dos gametas. Nas plantas, a meiose ocorre na formação dos esporos (que são haploides) e estes originam estruturas em que são formados os gametas, também haploides. Assim, os eventos da meiose aqui descritos também ocorrem em células vegetais e interferem na formação dos gametas das plantas.

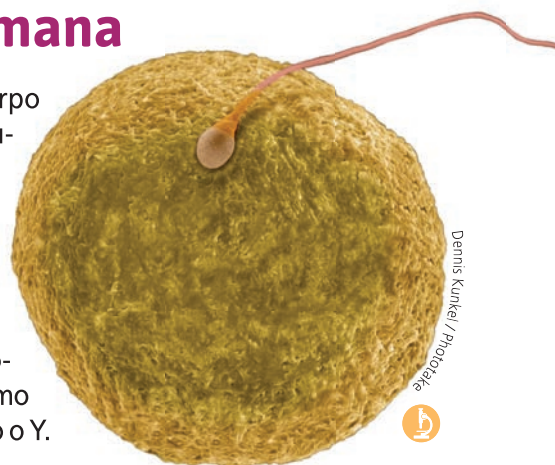
## 4 Herança do sexo na espécie humana

Na espécie humana, como você já sabe, cada célula que forma o corpo possui 23 pares de cromossomos homólogos, dos quais 22 pares são autossômicos. Os **autossomos** são os que condicionam as características do corpo, não responsáveis pela determinação do sexo. Essa responsabilidade cabe ao par de **cromossomos sexuais**, representados por X e Y.

O sexo feminino é determinado por um par de cromossomos X (XX) e o sexo masculino é determinado pelo par XY.

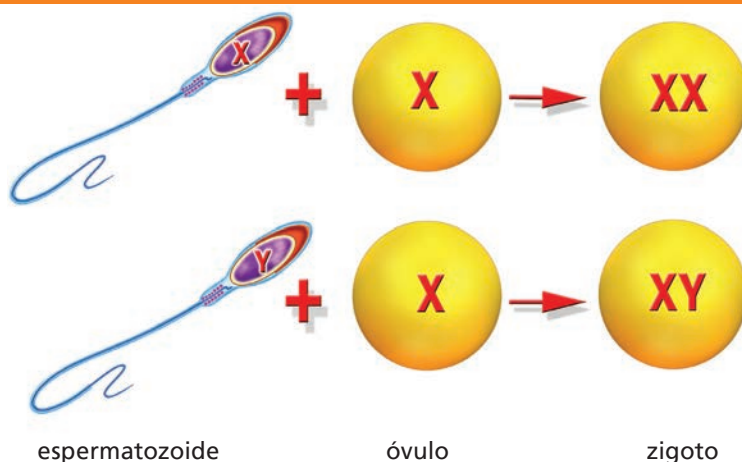
Tanto no óvulo quanto no espermatozoide existe apenas um cromossomo sexual, pois os gametas são células haploides. No óvulo, o cromossomo sexual é sempre X, enquanto no espermatozoide tanto pode ser o X, como o Y.

No momento da fecundação, se o espermatozoide for portador do cromossomo X, será formado um zigoto XX, que dará origem a uma mulher; se for portador do cromossomo Y, formará um zigoto XY, que dará origem a um homem.



^ **Óvulo e espermatozoide** do ser humano. O espermatozoide mede cerca de 65 µm de comprimento.

### Formação de indivíduos XX e XY



^ Esquema da formação de indivíduos do **sexo feminino (XX)** e do **sexo masculino (XY)**. Note que a determinação do sexo depende do cromossomo sexual presente no espermatozoide, e que a probabilidade de se formar um menino ou uma menina é a mesma: 50%.

## 5 Herança ligada ao sexo e herança holândrica

Os cromossomos X e Y são diferentes no tamanho e na forma; assim, o emparelhamento entre eles, que ocorre na prófase I da meiose, é incompleto. Existe uma região homóloga, onde ocorre emparelhamento; a outra parte dos cromossomos não fica emparelhada na meiose I devido a diferenças na forma e no tamanho (o cromossomo X é maior).

Os alelos situados na região homóloga interagem da mesma forma que acontece nos autossomos, mas os alelos que se situam na região não homóloga não interagem, ou seja, não possuem um alelo ocupando o loco correspondente no outro cromossomo e atuam de forma independente.

Se o gene considerado estiver na região não homóloga do cromossomo X, teremos um caso de **herança ligada ao X** ou **herança ligada ao sexo**.

Se o gene estiver na região não homóloga do cromossomo Y, teremos um caso de **herança ligada ao Y** ou **herança holândrica**.

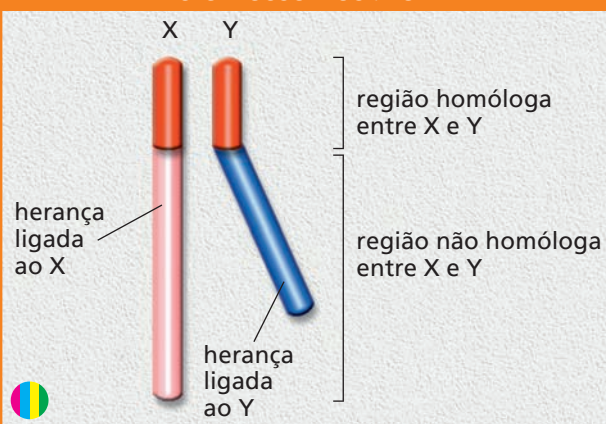


### PENSE E RESPONDA

Consulte o glossário etimológico e responda, em seu caderno, qual é o significado da palavra **holândrico**, formada pela junção de *holo* + *andro*.

Todo (*holo*) homem (*andro*). Refere-se à herança de caracteres condicionados por genes localizados na região homóloga do cromossomo Y.

## Emparelhamento entre os cromossomos X e Y



Os genes holândricos, como estão localizados na região não homóloga do cromossomo Y em relação ao cromossomo X, só ocorrem nos indivíduos do sexo masculino; o termo *andro* significa homem (ou masculino) e deu origem a vários vocábulos que se referem ao sexo masculino, como androceu, a parte masculina das flores. Holândrico (*holo* = todo; *andro* = homem) pode ser interpretado como “referente ao homem”.

O cromossomo Y apresenta poucos genes holândricos, todos relacionados à formação e diferenciação de testículos. Já o cromossomo X possui grande número de genes, muitos deles relacionados a doenças. A seguir, veremos dois casos bem conhecidos de herança ligada ao cromossomo X: o daltonismo e a hemofilia.



## PENSE E RESPONDA

- Elabore uma explicação para o fato de ser mais comum a existência de homens daltônicos do que mulheres daltônicas, considerando este tipo de daltonismo, cuja herança é ligada ao sexo.
- Vamos considerar a seguinte situação: uma mulher com visão normal para cores casou-se com um homem na mesma condição e teve um filho daltônico. Quais seriam os genótipos das pessoas envolvidas?

a) Resposta pessoal. O aluno pode conferir sua resposta ao prosseguir a leitura do texto.  
b) Filho daltônico:  $X^dY$ . Pai:  $X^DY$ . O alelo  $X^d$  foi herdado da mãe, que não é daltônica:  $X^DX^d$ .

## 5.1 Daltonismo: exemplo de herança ligada ao sexo

O daltonismo caracteriza-se por deficiência na percepção de cores por células especializadas da retina (“cegueira” parcial para cores). Existem três tipos de daltonismo, um deles com herança ligada ao X. Neste caso, o daltônico tem dificuldade para distinguir as cores vermelha e verde, e tons relacionados a essas cores.

O alelo responsável por esse tipo de daltonismo situa-se na região não homóloga do cromossomo X e é recessivo ( $d$ ) em relação ao seu alelo ( $D$ ), que condiciona a percepção total das cores.

Assim, a mulher pode apresentar três genótipos em relação ao daltonismo:

- ▶  $X^DX^D$  – não apresenta daltonismo;
- ▶  $X^DX^d$  – não apresenta daltonismo, pois em um dos cromossomos X está o alelo dominante  $D$ , que não causa o daltonismo;
- ▶  $X^dX^d$  – daltônica, pois o genótipo homozigótico recessivo condiciona este tipo de daltonismo.

O homem, em relação ao daltonismo, pode apresentar somente dois genótipos:

- ▶  $X^DY$  – não daltônico;
- ▶  $X^dY$  – daltônico.



## CURIOSIDADE

O daltonismo tem esse nome por ter sido descrito por **John Dalton**, consagrado químico inglês, nascido em 1766 e falecido em 1844. Em 1794, ele descreveu o que chamou de cegueira parcial para cores, usando o próprio exemplo e o de seu irmão, ambos daltônicos. Sua grande contribuição para a área da Química foi a proposta de um modelo para o átomo. A ideia de que a matéria é constituída por partes menores (os átomos) havia sido inicialmente considerada pelos gregos na Antiguidade e Dalton reconsiderou tal ideia, aperfeiçoando-a e sugerindo um modelo para o átomo. Esse modelo foi reformulado ao longo do tempo por outros cientistas.



Smithsonian Institution Libraries

▶ Retrato de **John Dalton** em gravura.



Nesta página, os alunos poderão verificar se as respostas que deram às questões da seção *Pense e responda*, sugeridas na página anterior, estão corretas.

Você deve ter percebido que uma mulher daltônica possui, necessariamente, o alelo que condiciona o daltonismo nos seus dois cromossomos X; para um homem, que possui apenas um cromossomo X, a presença de um alelo *d* condiciona o daltonismo, pois não há interação com outro alelo.

Vamos considerar a situação proposta na questão *b* da seção *Pense e responda*, da página anterior: um casal em que ambos possuem visão normal para cores teve um filho daltônico. Essa situação pode ocorrer apenas se a mulher for heterozigótica ( $X^D X^d$ ): seu fenótipo é normal, mas ela é portadora do alelo que condiciona o daltonismo, que é recessivo. O pai não pode ter esse alelo em seu cromossomo X, pois, nesse caso, seria daltônico; seu genótipo para esse caráter é, portanto,  $X^D Y$ .

A mãe heterozigótica poderá formar dois tipos de gametas:  $X^D$  e  $X^d$ . O pai poderá formar espermatozoides contendo o cromossomo Y e outros contendo  $X^D$ . Veja as possibilidades genótípicas para a descendência deste casal, no quadro a seguir.

Casal: $X^D X^d$ e $X^D Y$		
espermatozoide \ óvulo	$X^D$	$X^d$
$X^D$	$X^D X^D$	$X^D X^d$
$Y$	$X^D Y$	$X^d Y$

Dentre as possibilidades para os descendentes desse casal, temos:

- ▶ 25%  $X^D X^D$  – mulheres não daltônicas;
- ▶ 25%  $X^D X^d$  – mulheres não daltônicas;
- ▶ 25%  $X^D Y$  – homens não daltônicos;
- ▶ 25%  $X^d Y$  – homens daltônicos.

## 5.2 Outro caso de herança ligada ao sexo: hemofilia

A **hemofilia** é uma doença caracterizada por extrema dificuldade de coagulação sanguínea. Assim, a pessoa hemofílica é propensa a hemorragias, sempre difíceis de serem estancadas. Indivíduos hemofílicos não sintetizam um dos fatores de coagulação, ou seja, uma das substâncias necessárias à formação de coágulos.


Chamando de *H* o alelo dominante, que condiciona a produção do fator de coagulação, e de *h* o alelo recessivo, que condiciona a hemofilia, podemos ter as seguintes situações:

- ▶ a mulher com coagulação normal pode ter o genótipo  $X^H X^H$  ou  $X^H X^h$ ;
- ▶ a mulher hemofílica possui o genótipo  $X^h X^h$ ;
- ▶ o homem com coagulação normal possui o genótipo  $X^H Y$ ;
- ▶ o homem hemofílico possui o genótipo  $X^h Y$ .

Vamos supor a seguinte situação: uma mulher heterozigótica para o caráter hemofilia casa-se com um homem hemofílico e planeja ter filhos com ele. Qual será a probabilidade de esse casal ter filhos hemofílicos?

Para resolver o problema, devemos começar escrevendo os genótipos do casal, dos gametas formados e os possíveis resultados da fecundação desses gametas.

Se houver dificuldade para abrir a animação sugerida em *Multimídia* na internet, sugira aos alunos entrar no site principal e inserir a palavra "Sutton" na busca. Disponível em: <<http://teca.cecierj.edu.br/>>. Acesso em: 12 mar. 2016.


**MULTIMÍDIA**

**O trabalho de Sutton em *Brachystola***

<<http://teca.cecierj.edu.br/popUpVisualizar.php?id=45522>>

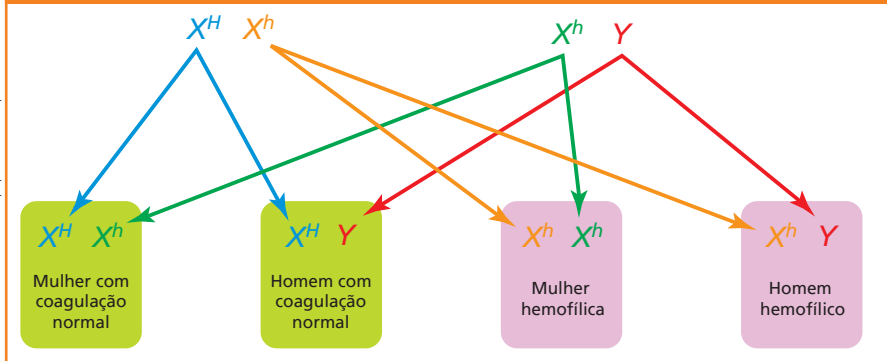


Walter Sutton (1877-1916) foi o cientista que elaborou a teoria cromossômica da herança genética, identificando os "fatores" enunciados por Mendel como estando localizados em cromossomos. Ele também estudou os cromossomos sexuais, conforme ilustrado nesta animação simples e interativa.

Acesso em: 12 mar. 2016.

Casal:  $X^H X^h$  e  $X^h Y$ 

Equipe NATH/Arquivo da editora



A probabilidade de esse casal gerar um descendente com hemofilia é de 50%, sendo 25% de chance de ser do sexo masculino ( $X^h Y$ ) e 25% do sexo feminino ( $X^h X^h$ ). Dentre os descendentes de sexo feminino, metade produz normalmente o fator de coagulação, porém é portadora do alelo que condiciona hemofilia ( $X^H X^h$ ).

### Mulheres hemofílicas

A existência de mulheres hemofílicas ocorre quando a mãe é portadora do alelo que condiciona a hemofilia e o pai é hemofílico. A união dos gametas masculinos e femininos que portam esse alelo gera uma mulher hemofílica. Houve uma época, no entanto, em que se acreditava que o alelo que condiciona a hemofilia era letal quando em dose dupla. Em outras palavras, já se acreditou, ou pelo menos já se admitiu como hipótese, que o zigoto contendo  $X^h X^h$  não se desenvolveria. Atualmente, sabe-se que um zigoto com esse genótipo se desenvolve, dando origem a uma mulher hemofílica.

É verdade que a ocorrência de mulheres hemofílicas é muito rara, pois, nelas, o alelo que condiciona a hemofilia precisa existir em homozigose. Além disso, as condições de sobrevivência dessas mulheres eram insatisfatórias até há pouco tempo, e era comum a sua morte por hemorragia na primeira menstruação (menarca).

Atualmente, mulheres hemofílicas podem viver se tomarem os mesmos cuidados que homens hemofílicos, acrescidos de tratamentos específicos para se evitarem as hemorragias relacionadas com o ciclo menstrual.

## 6 Herança influenciada pelo sexo

Existem casos em que a manifestação de um fenótipo, além de depender do genótipo, depende também do sexo do indivíduo. Um exemplo é o da calvície hereditária.

A calvície hereditária é condicionada pelos alelos  $C_1$  e  $C_2$ , que se localizam em um par de autossomos homólogos.

Quando o alelo  $C_1$  ocorre em homozigose ( $C_1 C_1$ ), o indivíduo será calvo (homem ou mulher); quando o alelo  $C_2$  ocorre em homozigose ( $C_2 C_2$ ), o indivíduo não será calvo, seja homem ou mulher.

No entanto, o indivíduo heterozigótico ( $C_1 C_2$ ) será calvo se for do sexo masculino e não será calvo se for mulher: o alelo  $C_1$  é dominante no homem e recessivo na mulher.

## 7 Herança limitada ao sexo

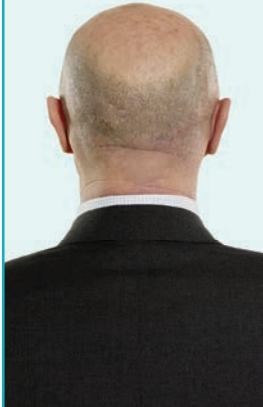
Existem genes que se manifestam apenas em homens ou apenas em mulheres.

Um exemplo é o caráter hipertricose auricular, que corresponde à produção excessiva de pelos no pavilhão auricular. O alelo que determina a hipertricose auricular localiza-se em um cromossomo autossômico e pode estar presente em homens e mulheres. O seu efeito é, contudo, limitado ao sexo masculino. Mulheres podem ser portadoras do alelo, mas não desenvolvem o caráter.



### CURIOSIDADE

Existem causas não hereditárias, como doenças, distúrbios hormonais e tratamentos médicos, que podem induzir à **calvície**, tanto em homens quanto em mulheres.



PhotoNonStop/Glow Images



Veja no Manual um caso de partenogênese.

## Herança do sexo nos animais

Será que o **sistema XY** é o único mecanismo de transmissão e determinação do sexo no reino animal?

Existem outros sistemas, como:

- o sistema **ZW**, que são as letras que representam os cromossomos sexuais, nesse caso. As fêmeas são heterogaméticas, ou seja, formam gametas com cromossomo sexual **Z** ou com o **W**; os machos são homogaméticos, formando apenas gametas com o cromossomo sexual **Z**. São os gametas femininos, portanto, que determinam o sexo da prole. Ocorre em alguns insetos, peixes e aves;
- o sistema **XO**, que ocorre em alguns insetos, em que as fêmeas são **XX** (homogaméticas), e os machos são **XO**, sendo, portanto, heterogaméticos. Os machos produzem dois tipos de gametas: um portador do cromossomo sexual **X** e outro sem cromossomo sexual – por isso utiliza-se a letra **O**;
- o sistema **ZO**, que ocorre em algumas espécies de mariposas, em que o macho é **ZZ** e a fêmea é **ZO**.

Além desses sistemas, existem outros casos, como a definição do sexo após a fecundação e o fenômeno da **partenogênese**, no qual o gameta feminino se desenvolve e forma um novo indivíduo (com células haploides), sem ter sido fecundado. Assim, o sexo é determinado pela ploidia da célula que dá origem ao indivíduo: as fêmeas são diploides e os machos são haploides.

A partenogênese ocorre na formação dos zangões das abelhas e em outras espécies de animais.

A definição do sexo após a fecundação é observada, por exemplo, em tartarugas e crocodilianos. Esses répteis produzem embriões em ovos que se desenvolverão em um ninho e as condições de temperatura e umidade do ninho determinarão se o embrião será macho ou fêmea.



◀ Em galináceos, a herança do sexo ocorre pelo **sistema ZW**.

Photodisc/Arquivo da editora

## O daltonismo

Neste capítulo, foi mencionado que: “Existem três tipos de **daltonismo**, um deles com herança ligada ao **X**”. O nome “daltonismo” corresponde a diversas condições de deficiência na percepção de cores, que podem ser organizadas em três grandes categorias: a dificuldade em distinguir vermelho e verde, a dificuldade em distinguir azul e amarelo e a incapacidade total de detectar cores.

A retina contém dois tipos de fotorreceptores: os cones e os bastonetes. Os cones são os responsáveis pela percepção de cores, e diversos genes estão envolvidos na síntese dos pigmentos que permitem aos cones exercer sua função. As três categorias de daltonismo são hereditárias.

A primeira categoria foi a que abordamos neste capítulo e é o tipo mais comum de daltonismo, sendo um caso de herança ligada ao sexo. Estudos com populações de ancestrais europeus mostraram uma incidência desse tipo de daltonismo em 8% dos homens e em 0,5% das mulheres.

A dificuldade em distinguir tons de azul e amarelo é mais rara, condicionada por um alelo dominante cujo loco fica em um autossomo. Sua ocorrência é estimada em menos de 1 para cada 10 000 indivíduos e o número de homens e mulheres afetados é igual.

Nesses dois casos de daltonismo, a acuidade visual, ou seja, a capacidade de formar imagens, não é afetada. Os daltônicos podem adaptar-se a situações do dia a dia, sem ter sua qualidade de vida prejudicada.

A incapacidade total de perceber cores é chamada acromatopsia, condição em que a pessoa enxerga as imagens em preto, branco e tons de cinza, e está associada a outros problemas de visão, como hipersensibilidade à luz e perda de acuidade visual. A acromatopsia é uma doença autossômica recessiva, de ocorrência muito rara.

O diagnóstico do daltonismo deve sempre ser feito por um oftalmologista.





## 1 Por que os gatos de três cores são fêmeas?

Os pelos dos gatos domésticos podem ser pretos, brancos ou alaranjados. Existem gatos com as três cores de pelos e, em 99% dos casos, essa pelagem ocorre em fêmeas. Vamos entender o porquê.

A cor da pelagem em gatos é determinada por dois pares de alelos autossômicos e um par de alelos localizado no cromossomo X. Um dos alelos ligados ao cromossomo sexual determina a produção de pelos alaranjados e o outro permite a produção de pelos pretos.

As fêmeas de mamíferos, como vimos neste capítulo, possuem um par de cromossomos X (XX). Em 1949, o cientista canadense Murray Barr descobriu que no núcleo das células somáticas das fêmeas existe uma região condensada, inativa. Essa região, que ficou conhecida como **corpúsculo de Barr**, corresponde a um cromossomo X condensado, com a maioria de seus alelos inativos. Nas células dos machos, que possuem o par XY, não há corpúsculo de Barr. Assim, tanto nas células dos machos quanto nas das fêmeas existe apenas um cromossomo X ativo.

Nas fêmeas, a inativação de um dos cromossomos X é aleatória e ocorre durante o desenvolvimento embrionário. Existe 50% de chance do cromossomo X inativado ser aquele herdado do pai e 50% de ser aquele proveniente da mãe. Surge, portanto, no embrião um mosaico de células que diferem quanto ao cromossomo X que está ativo. As células que se originam de células embrionárias com o X materno ativado herdam essa característica, assim como as células que se originam daquelas com o X paterno ativado.

Vamos considerar como exemplo uma gata heterozigótica para os alelos que condicionam a produção de pelos alaranjados ( $X^A X^a$ ). Como

esses alelos estão localizados no cromossomo X, existe a probabilidade de metade de suas células manifestarem o fenótipo determinado pelo alelo  $X^A$  – pelos alaranjados – e metade manifestarem o fenótipo relacionado a  $X^a$ .

Assim, voltemos ao caso das gatas de três cores. A herança de pelos alaranjados é ligada ao sexo e, dependendo do cromossomo X que estiver ativo, um grupo de células epidérmicas pode produzir pelos alaranjados e outro grupo, não.

O alelo dominante  $X^A$  é epistático sobre um par de alelos autossômicos que determina a pelagem preta. Assim, se um grupo de células epidérmicas da gata possuir o alelo recessivo ( $X^a$ ), ele pode produzir pelos pretos, dependendo do genótipo. Sendo a gata heterozigótica ( $X^A X^a$ ), o resultado é um fenótipo manchado, com pelos alaranjados e pretos.

E quanto aos pelos brancos? Existe outro par de alelos autossômicos que, em homozigose recessiva, condiciona a pelagem branca. Esses alelos não sofrem interação epistática dos alelos  $X^A / X^a$ . Tal processo, como já comentamos, é aleatório.

Fonte: PIERCE, B. *Genética: um enfoque conceitual*. 3. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2011.



Getty Images

◀ Gata com **três cores** na pelagem.

### DEPOIS DA LEITURA...

- Explique o que é epistasia e o que é herança ligada ao sexo.
- No início do texto, afirmou-se que em 99% dos casos, os gatos com três cores na pelagem são fêmeas. Consultando livros e sites de divulgação científica, descubra em que condição surgem gatos machos de três cores.
- A produção de pelos pretos é condicionada por alelo dominante, que vamos chamar de  $M$ . Como será o fenótipo da pelagem de uma gata com genótipo  $X^A X^a Mm bb$ ? E de uma gata  $X^A X^a Mm Bb$ ?

a) Epistasia: interação gênica na qual um par de alelos inibe a expressão de outros pares de alelos. Herança ligada ao sexo: condicionada por alelos localizados na região não homóloga do cromossomo X.

c) Gata laranja e branca – pela presença de  $X^A$ , possui pelos alaranjados e como esse alelo é epistático sobre  $P/p$ , não há pelos pretos; por ser  $bb$ , possui manchas de pelos brancos. A outra gata é laranja e preta, sem manchas brancas. Veja comentários no Manual.

## 2 Determinação do sexo, orientação sexual e identidade de gênero

A determinação dos sexos masculino e feminino em nossa espécie é feita pela herança dos cromossomos sexuais (X e Y). Existem evidências de que essa herança cromossômica não determina a orientação sexual de uma pessoa, manifestada pelo desejo por pessoas do mesmo sexo e/ou do sexo oposto, e também não está envolvida na identidade de gênero, ou seja, no

reconhecimento que uma pessoa tem de si mesma como sendo “mulher” ou “homem”, a partir das características que a nossa cultura identifica como femininas e masculinas.

A respeito desse tema, leia o texto produzido pelos profissionais do Centro de Pesquisa sobre o Genoma Humano e Células-tronco, do Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo.

### O gene gay

Muitos estudos buscam identificar se a orientação sexual de uma pessoa é determinada por seus genes.

Essa característica é extremamente complexa, pois um indivíduo pode sentir atração por pessoas do sexo oposto, enquanto outra pessoa pode sentir atração por pessoas do mesmo sexo por toda a sua vida. Para essas pessoas, é comum utilizarmos os termos “heterossexual” e “homossexual”. O termo “bissexual” seria utilizado para pessoas que sentem atração por indivíduos do mesmo sexo e do sexo oposto.

Ainda assim, essas três categorias não parecem suficientes para abarcar toda a diversidade de orientações sexuais existente, pois elas não levam em consideração a forma pela qual cada pessoa se identifica. Nem todas as pessoas que, ao nascerem, foram reconhecidas como mulheres se identificam com o gênero feminino. Da mesma forma, nem todos os que foram reconhecidos como homens se identificam com o gênero masculino. Quando consideramos o gênero nessa classificação, a diversidade de combinações possíveis aumenta ainda mais.

De qualquer forma, as pesquisas existentes sobre a determinação genética da orientação sexual trazem informações interessantes, mesmo que seja utilizada apenas a classificação simplificada das pessoas em heterossexuais e homossexuais. Em um estudo realizado nos EUA com 756 pares de gêmeos do mesmo sexo, os pesquisadores identificaram que a concordância [na orientação sexual] era de 32% entre os gêmeos monozigóticos e de 13% entre os dizigóticos. [...]

Essa diferença sugere que irmãos que compartilham o mesmo material genético apresentam uma probabilidade maior de se reconhecerem com a mesma orientação homossexual. Contudo, essa característica não é determinada exclusivamente pelo DNA, pois se assim fosse, todos os pares de gêmeos monozigóticos apresentariam concordância quanto à orientação sexual. [...] Esse tipo de estudo não permite concluir que existe um único gene da orientação sexual, nem mesmo dois... mas sugere que existem elementos no material genético que, em conjunto com o ambiente, podem determinar a orientação sexual da pessoa. Por esse motivo, podemos dizer que sentir atração por pessoas do mesmo sexo ou do sexo oposto #estánoDNA.

Disponível em: <<http://www.ib.usp.br/biologia/projetosemear/estanoDNA/sexualidade.html>>. Acesso em: 12 mar. 2016.



### DEPOIS DA LEITURA...

- Explique por que o fato de haver discordância entre parte dos gêmeos monozigóticos pesquisados quanto a orientação sexual indica que há outros fatores que definem esta característica.
- Até poucos anos atrás, a orientação sexual e a identidade de gênero eram assuntos considerados tabus na sociedade, e as pessoas que não se encaixavam no estabelecido padrão heterossexual já foram, inclusive, condenadas à prisão em países democráticos. Reúna-se com os colegas para saber quais são as leis e direitos contra a homofobia e a transfobia em nosso país e em outra nação, escolhida por vocês. Usem as informações em um debate organizado pelos professores, e analisem criticamente o combate ao preconceito em sua escola e comunidade.

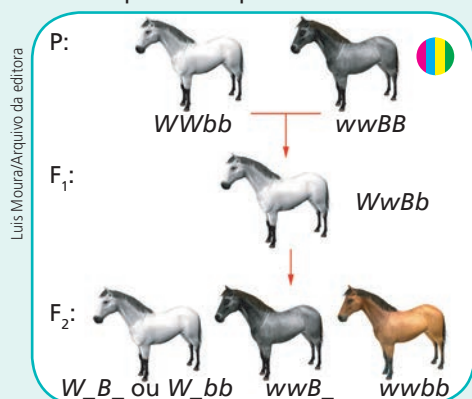
a) Os gêmeos monozigóticos são clones, ou seja, possuem patrimônio genético idêntico. Se a orientação sexual fosse determinada apenas geneticamente, gêmeos monozigóticos teriam sempre, obrigatoriamente, a mesma condição.

b) Veja subsídios e sugestões no Manual.

2. Na vinculação gênica, os pares de alelos localizam-se no mesmo par de cromossomos homólogos. A Segunda Lei explica os casos em que há segregação independente dos cromossomos (e dos alelos neles contidos).

## Revedendo e aplicando conceitos

1. b) Trata-se de um caso de interação gênica, pois dois pares de alelos condicionam uma única característica: a forma da crista.
1. Considere a herança da forma da crista em galináceos, na qual dois pares de alelos ( $R/r$  e  $E/e$ ) determinam características da crista, e responda às questões:
  - a. Na expressão "A crista simples é condicionada pelos alelos recessivos em dose dupla,  $rree$ ", qual é o genótipo e qual é o fenótipo?
    1. a) Genótipo:  $rree$ . Fenótipo: crista simples.
  - b. No cruzamento entre dois galináceos de genótipo  $RrEe$ , a descendência apresenta proporção fenotípica igual a 9: 3: 3: 1. Essa proporção é igual a observada em casos de Segunda Lei de Mendel. Por que a herança de crista não pode ser um exemplo da Segunda Lei?
2. O que é vinculação gênica? Por que casos de vinculação gênica nunca obedecem às proporções mendelianas relacionadas com a Segunda Lei de Mendel?
3. Pleiotropia: um único par de alelos condiciona mais de uma característica.
3. Que tipo de herança pode ser considerada um fenômeno inverso ao da interação gênica? Justifique sua resposta.
4. Herança quantitativa. Ex.: determinação da cor da pele em seres humanos.
4. A afirmativa "O fenótipo depende da quantidade de alelos efetivos e de alelos não efetivos" refere-se a qual tipo de herança? Cite um exemplo.
5. Genes. Um único cromossomo possui muitos locos gênicos.
5. Nos seres vivos, o que existe em maior quantidade: genes ou cromossomos? Justifique sua resposta.
6. Explique por qual motivo:
  6. a) O alelo  $C_1$  é dominante no homem e recessivo na mulher; é um caso de herança influenciada pelo sexo.
  - a. o genótipo  $C_1C_2$  causa a calvície hereditária no homem e não causa na mulher.
  6. b) O alelo que condiciona o daltonismo localiza-se no cromossomo X, e o homem possui apenas um X.
  - b. a presença de um único alelo para daltonismo determina essa condição no homem e não na mulher.
  - c. alguns alelos, localizados no cromossomo X ou no Y, não interagem com outros alelos do cromossomo do par.
  6. c) Esses alelos situam-se na região não homóloga entre os cromossomos X e Y.
7. A figura a seguir representa três gerações de cavalos, analisando a herança da cor da pelagem. Sabe-se que esse caráter é determinado por dois pares de alelos, que vamos representar por  $W/w$  e  $B/b$ .



7. Interação gênica com epistasia. Consulte o Manual.

8. b) A planta de genótipo  $AaRr$  poderá formar gametas  $AR$  e  $ar$ ; a planta de genótipo  $aarr$  poderá formar gametas  $ar$ .

Pela figura, podemos concluir que a presença do alelo  $W$  determina a cor branca da pelagem; o alelo  $B$  condiciona a cor preta e os indivíduos homozigóticos recessivos são marrons.

A herança da cor da pelagem nesses cavalos representa que tipo de herança genética? Justifique sua resposta.

8. Considere duas características das sementes de uma planta hipotética: cor (branca ou amarela) e forma (lisa ou rugosa). Cada caráter é determinado por um par de alelos,  $A/a$  e  $R/r$ , respectivamente.

O alelo dominante  $A$  condiciona a cor amarela e o alelo dominante  $R$  condiciona a forma lisa da semente. Uma planta de genótipo  $AaRr$  é cruzada com uma planta de genótipo  $aarr$ . Responda:

8. a)  $AaRr$ : sementes amarelas e lisas;  $aarr$ : sementes brancas e rugosas.

- a. Quais são os fenótipos das plantas do cruzamento, quanto às características da semente?
  - b. Considerando que os alelos  $A$  e  $R$  são vinculados (ou seja, localizam-se no mesmo cromossomo), que tipos de gametas cada planta poderá formar?
  - c. Qual é a proporção fenotípica esperada para este cruzamento?
    8. c) 50% de plantas  $AaRr$  (sementes amarelas e lisas); 50% de plantas  $aarr$  (sementes brancas e rugosas).
  9. Sabe-se que genes vinculados ao mesmo cromossomo podem sofrer permutação com os alelos do cromossomo homólogo, durante a prófase I da meiose.
  9. Distância de 8 morganídeos. Consulte o Manual.
- Os alelos  $A$  e  $R$ , da questão anterior, estão localizados em um mesmo cromossomo. A proporção observada, na descendência, foi de:
- 46% de plantas com sementes amarelas e lisas.
  - 46% de plantas com sementes brancas e rugosas.
  - 4% de plantas com sementes amarelas e rugosas.
  - 4% de plantas com sementes brancas e lisas.

Represente esquematicamente a posição dos dois alelos em um cromossomo, indicando a distância entre eles, em morganídeos.

## Trabalhando com gráficos

10. Considere a herança da cor da pele em um casal formado por um homem e uma mulher, ambos heterozigóticos para os dois pares de alelos envolvidos.
  - a. Monte o quadro de Punnett com os gametas formados por esse casal e os genótipos possíveis para seus filhos.
    10. a) Consulte o Manual.
  - b. Com os dados obtidos no quadro de Punnett, monte uma tabela relacionando: genótipos possíveis,
    10. b) Consulte o Manual.

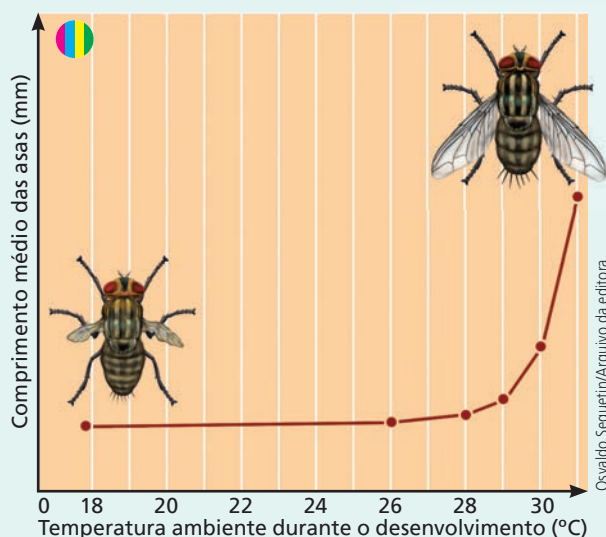


fenótipos possíveis e a proporção fenotípica esperada para cada caso.

- c. Elabore um gráfico a partir dos dados da tabela. Coloque o número de indivíduos (proporção fenotípica) no eixo vertical e a variação fenotípica (negro, mulato escuro, mulato médio, mulato claro e branco) no eixo horizontal. Depois de marcar os pontos da tabela no gráfico, una-os formando uma curva – lembre-se de que na herança quantitativa existe uma variação contínua de fenótipos.

10. c) Consulte o Manual.

11. Em um trabalho científico publicado em 1936, o biólogo M. H. Hamly verificou que moscas-das-frutas que possuem o alelo condicionante do fenótipo asa vestigial em homozigose podem ter diferentes comprimentos das asas, dependendo da temperatura em que estão expostas durante o desenvolvimento. Os resultados obtidos por ele estão expressos no gráfico a seguir.



Fonte: PIERCE, B. A. *Genetics: a conceptual approach*. 4. ed. New York: W. H. Freeman, 2010, p. 123.

- a. Identificando o alelo que condiciona o fenótipo asa com comprimento normal como  $V$ , escreva o genótipo das moscas ilustradas no gráfico e explique sua resposta.
11. b) Consulte o Manual.
- b. No cruzamento de um macho heterozigótico para o caráter comprimento da asa com uma fêmea de asas vestigiais, quais são as possibilidades genotípicas e fenotípicas da descendência? A herança deste caráter está de acordo com a Segunda Lei de Mendel?
11. c) Consulte o Manual.

- c. Considere agora a herança dos caracteres comprimento da asa e cor do corpo, determinados por dois locos gênicos do mesmo par de cromossomos homólogos. Calcule as possibilidades genotípicas e fenotípicas para as mesmas moscas parentais do

11. a) As duas moscas ilustradas possuem genótipo  $vv$ , que condiciona o desenvolvimento de asas vestigiais. O comprimento das asas nas duas moscas é diferente pela influência da temperatura no desenvolvimento do caráter.

11. d) Os dados do gráfico confirmam a afirmação, pois comprova-se que a temperatura, um fator ambiental, influencia a expressão de uma característica determinada geneticamente.

item anterior, considerando que ambas são heterozigóticas para a condição cor cinza. A herança dos dois caracteres está de acordo com a Segunda Lei de Mendel? Justifique sua resposta.

- d. O fenótipo de um organismo resulta da interação entre seu patrimônio genético e a influência do ambiente. Os dados mostrados no gráfico confirmam ou desmentem essa afirmação? Por quê?

- e. Cite uma característica de uma espécie que não sofre influência de fatores ambientais em sua expressão.

11. e) A cor e a forma das sementes de ervilha; o grupo sanguíneo da espécie humana.

## Ciência, Tecnologia e Sociedade

REFLEXÕES  
SOBRE O ENSINO  
DE BIOLOGIA

12. Existem evidências de que o albinismo sempre existiu nas populações humanas. O fenótipo albino geralmente é raro, ocorrendo entre 1 a cada 20 000 pessoas de uma população. No entanto, a frequência do alelo recessivo que condiciona o albinismo pode ser maior ou menor em certos grupos, devido ao modo como as pessoas albinas são tratadas.

Descobriu-se, por exemplo, que entre os indígenas norte-americanos da etnia Hopi a frequência de albinos é de 1 a cada 200 pessoas, fato que antropólogos relacionaram ao modo especial como as pessoas albinas são tratadas: desde bebês, são preparadas para serem futuras lideranças comunitárias ou religiosas. Em algumas regiões do continente africano, a situação é diferente, por uma tradição de algumas tribos de matar pessoas albinas. Muitos albinos africanos vivem sob proteção em outros lugares, e vários deles lutam por uma mudança nesse cenário, em prol da informação e dos direitos humanos.

Mesmo em situações não tão extremas, as pessoas albinas costumam enfrentar *bullying*, violência moral ou até mesmo física, unicamente em razão de sua cor. É o caso do modelo norte-americano Shaun Ross, que enfrentou muito preconceito ao longo da infância, pelos vizinhos e colegas de escola.



Lev Radin/Shutterstock

Converse com seus colegas a respeito das questões:

- a. O que são direitos humanos? Faça uma pesquisa para saber mais.

Shaun Ross, nascido em 1991, é considerado o primeiro modelo profissional com albinismo.

12. a) Direitos humanos são princípios que descrevem certos padrões éticos relativos às condições de vida de uma pessoa, protegidos por leis de âmbito nacional e internacional.

12. b) Resposta pessoal. Espera-se que os alunos percebam que o conhecimento pode ser útil no combate ao preconceito, por meio da compreensão de que há diversidade nas características humanas e todas devem ser respeitadas.

**b.** Dê sua opinião: de que modo a informação e o conhecimento sobre herança genética podem combater preconceitos e favorecer o surgimento de uma sociedade global mais justa? **12. c) Resposta pessoal.** O racismo é crime no Brasil. Veja mais informações no Manual.

**c.** Você já presenciou um caso de *bullying* relacionado à cor da pele ou outra característica de uma pessoa? Qual é a sua opinião a respeito desse caso?

**12. d) Resposta pessoal.** Sugerimos que esta atividade seja um projeto ▼

**d.** Expresse de modo artístico a sua opinião, por meio de desenho, escultura, letra de música, cena de teatro ou a forma que preferir.

► interdisciplinar com Arte e/ou Língua Portuguesa.

**13.** Leia a seguir trechos adaptados de uma reportagem de revista:

Todos os anos, dois mil brasileiros [...] se submetem aos testes genéticos preditivos, que identificam a suscetibilidade a determinadas doenças, antes de sua possível instalação. O que fazer diante do resultado positivo para uma doença incurável, para a qual ainda não há tratamento? E quando a opção mais eficaz de tratamento é radical e irreversível, como a extirpação completa de um órgão? "Os testes genéticos preditivos levantam as questões mais tormentosas da medicina sob o ponto de vista ético e individual", diz Erickson Gavazza, desembargador do Tribunal de Justiça do Estado de São Paulo e especialista em bioética.

Atualmente, a análise de DNA permite que se constate o risco de desenvolvimento de uma centena de doenças. [...] No caso de enfermidades como obesidade, diabetes e colesterol alto, a genética influencia, mas não as determina. O peso do fator ambiental é muito maior. Com mudanças no estilo de vida, é possível impedir a manifestação dos genes associados a elas. Há, no entanto, os casos em que a genética ou é uma sentença inapelável de desenvolvimento de uma doença, como [a doença de] Huntington [...], ou é o principal fator de risco para o aparecimento de uma série de moléstias, sobretudo o câncer.

Veja. ed. 2 140, n. 47. São Paulo: Editora Abril, 25 nov. 2009, p. 105-108.

A reportagem também cita o caso do estudante Rafael, de 18 anos, que preferiu não saber se é portador do alelo que condiciona a doença de Huntington, que já afetava seu pai. Trata-se de um distúrbio neurológico que compromete os movimentos do corpo, a partir dos 30 anos, e avança de forma progressiva até a paralisia. Na opinião do estudante, não há por que descobrir se vai ter a doença no futuro, já que não existe tratamento: "Sou muito feliz e é isso que importa", completa.

13. a) "No caso de enfermidades como obesidade, diabetes e colesterol alto, a genética influencia, mas não as determina. O peso do fator ambiental é muito maior." Veja comentários no Manual.

Após a leitura do texto, faça o que se pede:

**a.** "O fenótipo depende do genótipo e da ação do meio". Identifique o trecho do texto que está de acordo com tal afirmação e justifique sua resposta no caderno.

**13. b) Consulte o Manual.**

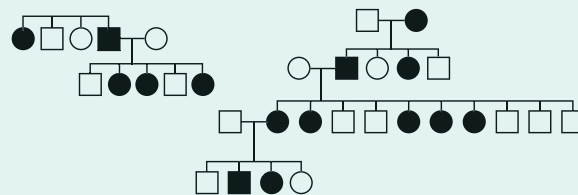
**b.** O que é aconselhamento genético e qual a sua importância? Faça uma breve pesquisa a respeito desse tema e relacione-a com o texto lido.

**13. c) Resposta pessoal.**

**c.** Converse com seus colegas a respeito dos dilemas que as pessoas que se submetem aos testes genéticos enfrentam, como o caso do estudante Rafael. Depois escreva um pequeno texto em seu caderno comentando a sua opinião.

## Questões do Enem e de vestibulares

**14.** (Enem-2014) No heredograma, os símbolos preenchidos representam pessoas portadoras de um tipo raro de doença genética. Os homens são representados pelos quadrados e as mulheres, pelos círculos.



Qual é o padrão de herança observado para essa doença?

**a.** Dominante autossômico, pois a doença aparece em ambos os sexos.

**b.** Recessivo ligado ao sexo, pois não ocorre a transmissão do pai para os filhos.

**c.** Recessivo ligado ao Y, pois a doença é transmitida dos pais heterozigotos para os filhos.

**14. d.** Dominante ligado ao sexo, pois todas as filhas de homens afetados também apresentam a doença.

**e.** Codominante autossômico, pois a doença é herdada pelos filhos de ambos os sexos, tanto do pai quanto da mãe.

**15.** (Fuvest-SP) As três cores de pelagem de cães labradores (preta, marrom e dourada) são condicionadas pela interação de dois genes autossômicos, cada um deles com dois alelos: *Ee* e *Bb*. Os cães homozigóticos recessivos *ee* não depositam pigmentos nos pelos e apresentam, por isso, pelagem dourada. Já os cães com genótipos *EE* ou *Ee* apresentam pigmento nos pelos, que pode ser preto ou marrom, dependendo

do outro gene: os cães homozigóticos recessivos *bb* apresentam pelagem marrom, enquanto os com genótipos *BB* ou *Bb* apresentam pelagem preta. Um labrador macho, com pelagem dourada, foi cruzado com uma fêmea preta e com uma fêmea marrom. Em ambos os cruzamentos, foram produzidos descendentes dourados, pretos e marrons.

- a. Qual é o genótipo do macho dourado, quanto aos dois genes mencionados? 15. a) *eeBb*.
- b. Que tipos de gameta e em que proporção esse macho forma? 15. b) 50% *eB*; 50% *eb*.
- c. Qual é o genótipo da fêmea preta? 15. c) *EeBb*.
- d. Qual é o genótipo da fêmea marrom? 15. d) *Eebb*.

16. (UFU-MG – mod.) O peso dos frutos (fenótipos) de uma determinada espécie vegetal varia de 150 g a 300 g. Do cruzamento entre linhagens homozigóticas que produzem frutos de 150 g com linhagens homozigóticas que produzem frutos de 300 g, obteve-se uma geração  $F_1$  que, autofecundada, originou 7 fenótipos diferentes.

Sabendo-se que o peso do fruto é um caso de herança quantitativa, responda:

- a. Quantos pares de genes estão envolvidos na determinação do peso dos frutos desta espécie vegetal? 16. a) 3 pares de alelos.
- b. Qual é o efeito aditivo de cada gene? 16. b) 25 g.

17. (Unicamp-SP) No ser humano, a ausência de pigmento (albinismo: *dd*) e a cor da pele (cor branca: *aabb*; cor negra: *AABB*) são características autossômicas. Do casamento entre um homem e uma mulher negros, nasceu um menino albino. Do casamento desse rapaz com uma mulher branca, nasceram dois filhos mulatos intermediários e uma filha albina.

Com base nesses dados:

- a. Indique os genótipos de todas as pessoas citadas no texto. (Use as notações indicadas no texto para identificar os alelos.) 17. a) Consulte o Manual.
- b. Se um dos descendentes mulatos intermediários se casar com uma mulher branca albina, qual será a proporção esperada de filhos albinos? 17. b) 50%. Consulte o Manual.
- c. A que tipo de herança se refere a característica cor de pele? Justifique. 17. c) Herança quantitativa. A variação do caráter é contínua, com efeito aditivo dos alelos efetivos.

18. (UFJF-MG) A hemofilia é uma doença hereditária que causa problemas no processo de coagulação sanguínea nos indivíduos doentes. Um dos tipos mais graves de hemofilia, a hemofilia A, é condicionada por um alelo recessivo (*h*), localizado no cromossomo X.

18. a) Sexo masculino, pois a presença de apenas um alelo é necessário para condicionar a hemofilia ( $X^hY$ ).

- a. Qual sexo você espera que seja mais afetado pela doença? Justifique a sua resposta.
- b. Quais as chances de uma mulher normal, filha de pai hemofílico, casada com um homem normal, ter um filho do sexo masculino hemofílico? 18. b) 25%. Consulte o Manual.
- c. Quais os possíveis genótipos da mãe da mulher citada no item b? 18. c)  $X^H X^H$  ou  $X^H X^h$ .
- d. Qual é a lei de Mendel que explica o tipo de herança descrito anteriormente? 18. d) Herança ligada ao sexo.

19. (Unifesp) Os locos *M*, *N*, *O*, *P* estão localizados em um mesmo cromossomo. Um indivíduo homozigótico para os alelos *M*, *N*, *O*, *P* foi cruzado com outro, homozigótico para os alelos *m*, *n*, *o*, *p*. A geração  $F_1$  foi então retrocruzada com o homozigótico *m*, *n*, *o*, *p*. A descendência desse retrocruzamento apresentou:

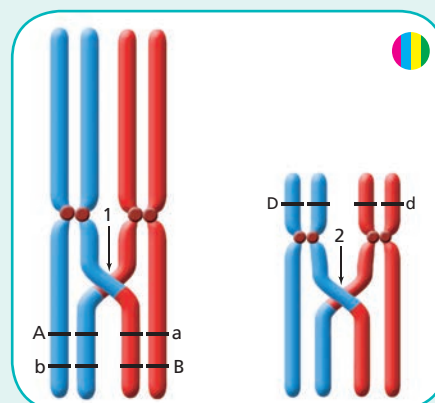
- 15% de permuta entre os locos *M* e *N*.
- 25% de permuta entre os locos *M* e *O*.
- 10% de permuta entre os locos *N* e *O*.

Não houve descendentes com permuta entre os locos *M* e *P*. Responda.

19. a) Sequência: *M*, *N* e *O*. Consulte o Manual.

- a. Qual a sequência mais provável desses locos no cromossomo? Faça um esquema do mapa genético desse trecho do cromossomo, indicando as distâncias entre os locos. 19. b) Os genes *M* e *P* provavelmente estão próximos entre si, o que dificulta a ocorrência de permutação.
- b. Por que não houve descendentes recombinantes com permuta entre os locos *M* e *P*?

20. (Fuvest-SP) O esquema abaixo representa, numa célula em divisão meiótica, dois pares de cromossomos com três genes em heterozigose: *A/a*, *B/b* e *D/d*. Nesses cromossomos, ocorreram as permutas indicadas pelas setas 1 e 2. 20. a) A célula poderá formar 4 tipos de gametas: *AbD*, *Abd*, *aBD* e *aBd*.



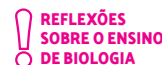
Luís Moura/Arquivo da editora

- a. Quanto aos pares de alelos mencionados, que tipos de gametas esta célula poderá formar?
- b. Que pares de alelos têm segregação independente?

20. b) Os pares de alelos que se localizam em cromossomos não homólogos possuem segregação independente. Os genes *A/a* e *B/b* estão vinculados.



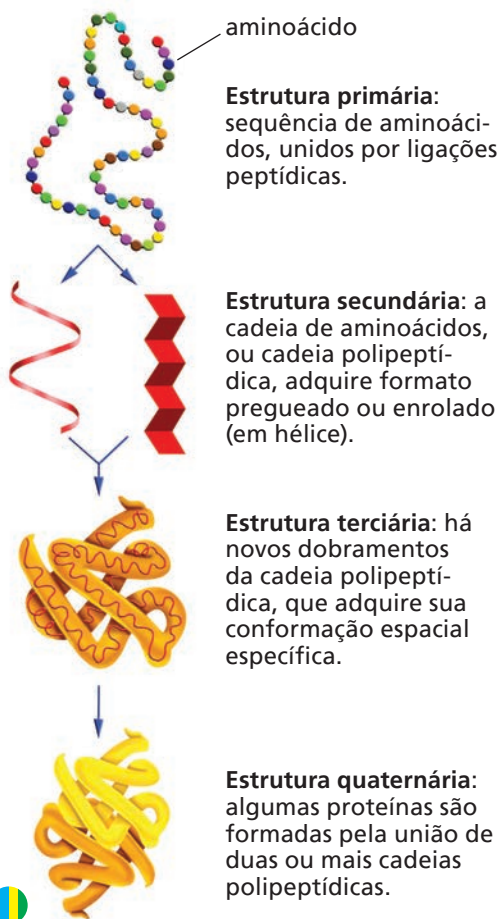
# Biologia molecular do gene: síntese proteica e engenharia genética



## CURIOSIDADE

A **desnaturação** de uma proteína é o processo em que sua conformação espacial se desfaz, resultando na perda de função. Temperaturas superiores a um patamar considerado ótimo para atividade da proteína podem causar a desnaturação.

## Níveis de organização de uma proteína



As figuras estão representadas em diferentes escalas.

Esquema mostrando, de forma simplificada, estruturas primária, secundária, terciária e quaternária de uma **proteína** hipotética.

## 1 Introdução

Nos capítulos anteriores, vimos que as características de um indivíduo são determinadas pela interação de seu genótipo com as condições do ambiente. Surgem, então, as perguntas: como os genes, localizados nos cromossomos, "determinam" as características? O que significa dizer que o fenótipo é "determinado" pelo genótipo e pelo ambiente?

As respostas a essas questões estão no conhecimento da biologia molecular do gene, isto é, precisamos entender a função do gene na célula em termos moleculares. Veremos isso na primeira parte deste capítulo. Na segunda parte, abordaremos uma aplicação muito importante desse conhecimento: a engenharia genética.

## 2 Síntese de proteínas

As características hereditárias, transmitidas de pais para filhos, são resultado da interação entre as moléculas que formam o organismo. Entre essas moléculas, temos de destacar a importância das **proteínas**, constituídas por aminoácidos. Com enorme diversidade de formas e funções, elas estão envolvidas em praticamente todas as atividades de uma célula e de todo o corpo.

O esquema ao lado apresenta a organização das proteínas em quatro níveis crescentes de complexidade. A estrutura primária corresponde à sequência de aminoácidos, que é específica para cada tipo de proteína. A união de um aminoácido ao outro se faz por meio de uma ligação química chamada ligação peptídica. Por isso, as proteínas são também conhecidas como **polipeptídeos**, embora alguns autores utilizem esse termo para se referir a sequências com menor número de aminoácidos do que uma proteína.

A estrutura secundária adquire formato pregueado ou enrolado, determinado por atrações químicas entre certos aminoácidos. Como resultado, as proteínas apresentam uma forma tridimensional e essa forma também é específica de cada proteína. A forma de uma proteína está associada à sua função.

Vejamos dois exemplos da importância das proteínas no organismo humano. A coagulação sanguínea, deficiente nos indivíduos hemofílicos, depende de um conjunto de proteínas, além da presença de vitamina K e íons cálcio. A “falha” na produção de uma dessas proteínas pode comprometer a formação de coágulos.

O segundo exemplo também é de uma proteína encontrada no sangue, especificamente no interior das hemácias: a hemoglobina, responsável pelo transporte de gás oxigênio ( $O_2$ ) e, em menor intensidade, do gás carbônico. Existe um alelo que condiciona a síntese de hemoglobina defeituosa, com menor capacidade de transporte de  $O_2$ , resultando em hemácias com formato de foice. Os portadores de um par desses alelos possuem anemia falciforme.

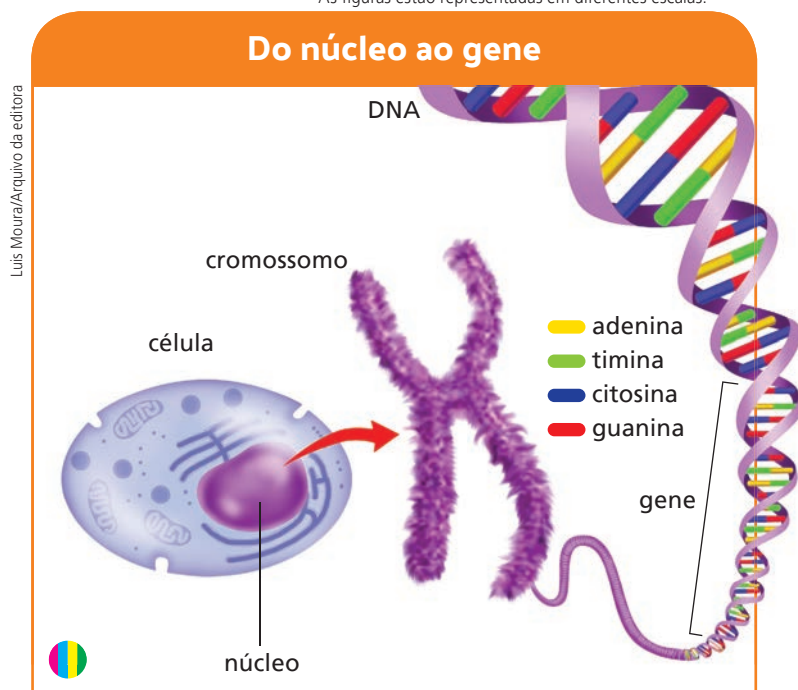
O **DNA** comanda a síntese de proteínas nas células e, portanto, atua na determinação de características de um indivíduo. Cada cromossomo é formado por uma molécula de DNA associada a proteínas, e determinados trechos da molécula de DNA correspondem aos **genes**.

Lembre-se de que a molécula de DNA é formada por uma sequência de nucleotídeos, que podem apresentar adenina (A), timina (T), citosina (C) ou guanina (G); essa sequência está emparelhada com a cadeia complementar, formando uma dupla-hélice. Nas regiões do DNA que correspondem aos genes, essa sequência de nucleotídeos funciona como um código: determinadas sequências correspondem a um determinado aminoácido. Assim, as “letras” do DNA codificam uma sequência de aminoácidos, que constituirão uma proteína.

Em uma célula eucariótica o DNA localiza-se dentro do núcleo, delimitado pela carioteca. As proteínas são produzidas nos ribossomos, que se localizam no citoplasma da célula, livres ou aderidos à membrana externa do retículo endoplasmático granuloso.

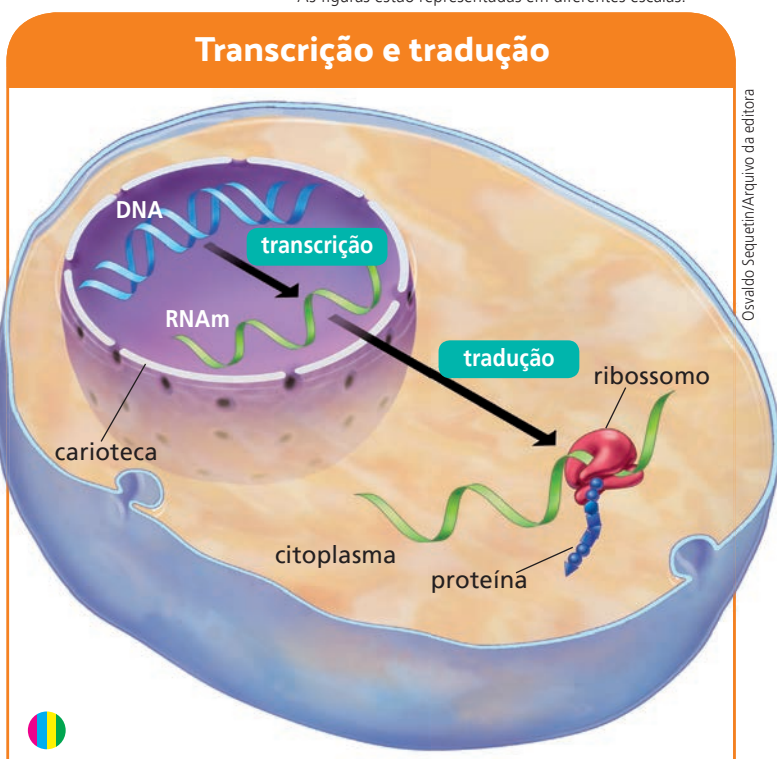
Como é possível, então, que o DNA comande a síntese proteica de dentro do núcleo? É aí que entra em cena o **ácido ribonucleico (RNA)**, que você já deve conhecer. Essa molécula participa das duas etapas da síntese proteica: a **transcrição** e a **tradução**.

As figuras estão representadas em diferentes escalas.



Esquema relacionando **célula eucariótica, núcleo, cromossomo, DNA e gene**. Embora esta figura seja esquemática, é possível perceber que o gene corresponde a uma região do DNA que, por sua vez, corresponde a um cromossomo. Existem proteínas que participam da estrutura do cromossomo, mantendo a molécula de DNA enovelada – essas proteínas não estão representadas na figura. O cromossomo está representado em sua forma duplicada e condensada.

As figuras estão representadas em diferentes escalas.



Esquema simplificado da relação entre **DNA, RNA mensageiro (RNAm) e proteína** na síntese proteica.

Os genes, localizados no DNA, não sintetizam proteínas, mas enviam a “receita” para a sua produção nos ribossomos pelo **RNA mensageiro (RNAm)**. O RNAm é produzido no núcleo a partir do DNA, em uma etapa chamada transcrição, e então chega ao citoplasma. Os ribossomos associam-se ao RNAm e tem início a síntese proteica, em uma etapa chamada tradução. Veremos esses dois processos nos itens a seguir.

## 2.1 Transcrição

A etapa na qual a informação genética do DNA é transferida para uma molécula de RNAm chama-se **transcrição**.

Que “informação genética” é essa?

É a sequência de nucleotídeos da região do DNA que corresponde a um gene. Essas sequências são compostas, geralmente, de milhares de nucleotídeos. Podemos representar os nucleotídeos pelas bases nitrogenadas que possuem (A, T, C ou G), pois a pentose (desoxirribose) e o fosfato que também compõem cada nucleotídeo são sempre iguais, em toda a molécula de DNA.

Um gene pode ser formado por milhares de pares de nucleotídeos (ou pares de bases nitrogenadas). Vamos utilizar como exemplo uma sequência pequena e hipotética, simbolizando um fragmento de um gene:

T	A	C	A	A	G	C	C	G
A	T	G	T	T	C	G	G	C

Uma enzima presente no núcleo da célula, chamada **RNA polimerase**, posiciona-se no início do gene a ser transcrito. As duas cadeias do DNA são separadas naquele ponto, pelo rompimento das pontes de hidrogênio que mantinham as bases complementares unidas.

Uma das duas cadeias de DNA servirá de “molde” para a produção de um filamento de RNA. Nucleotídeos de RNA, disponíveis no núcleo, vão se emparelhando com a “cadeia-molde” de DNA. Um nucleotídeo de RNA é formado pelo açúcar ribose, um fosfato e uma base nitrogenada, que pode ser adenina (A), uracila (U), citosina (C) ou guanina (G). O emparelhamento entre os nucleotídeos de DNA da cadeia-molde e os nucleotídeos de RNA é específico, conforme mostra o quadro abaixo:

Bases complementares	
DNA	RNA
C	G
G	C
T	A
A	U

Utilizando o fragmento de gene que representamos anteriormente, teremos, ao final da transcrição, o seguinte RNAm:

“cadeia-molde” de DNA:	T	A	C	A	A	G	C	C	G
RNA mensageiro:	A	U	G	U	U	C	G	G	C

### RECORDE-SE

#### Diferenças entre nucleotídeos de DNA e de RNA

- No DNA, a pentose é a desoxirribose, e no RNA é a ribose.
- As bases nitrogenadas adenina (A), citosina (C) e guanina (G) ocorrem nos dois tipos de ácidos nucleicos; a timina (T) ocorre somente no DNA e a uracila (U) somente no RNA.
- No DNA, as bases complementares estão ligadas por pontes de hidrogênio, resultando uma cadeia dupla; o RNA é constituído de uma única cadeia (simples).

Transcrição: reprodução, cópia. A sequência de nucleotídeos da cadeia-molde de DNA é copiada no RNAm.

### PENSE E RESPONDA

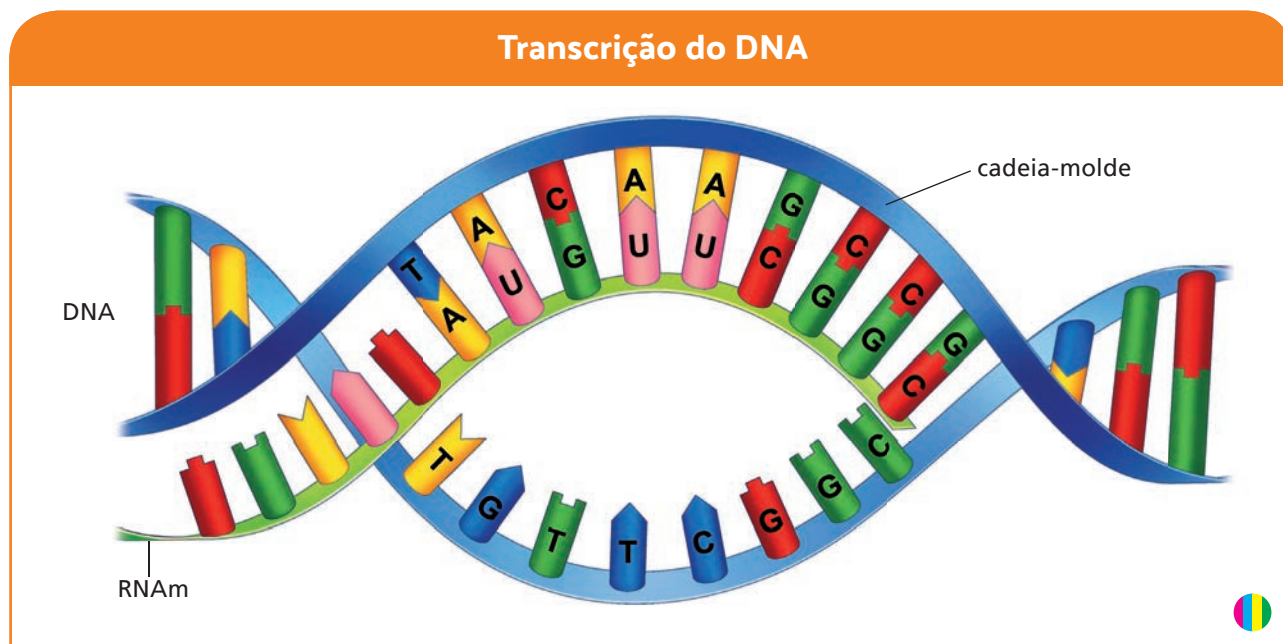
Procure em um dicionário da língua portuguesa o significado de **transcrição**, do verbo transcrever. Depois, procure relacionar o seu significado ao processo celular que acabamos de descrever.



Após o término da transcrição, as duas cadeias do DNA voltam a se unir, reestabelecendo-se as pontes de hidrogênio entre suas bases complementares. O RNAm, constituído de uma cadeia simples, é liberado e atravessa os poros da carioteca, chegando ao citoplasma. Todas as etapas da transcrição são ativadas por enzimas presentes no núcleo.

No processo de transcrição, as “letras” de uma sequência de DNA, que correspondem aos nucleotídeos com as bases A, T, C e G, dão origem a uma sequência de RNA, que possui outras “letras”: A, U, C e G. Ainda utilizando esta analogia, podemos dizer que o “idioma” continua o mesmo, pois DNA e RNA pertencem ao mesmo grupo de substâncias químicas, o dos ácidos nucleicos.

✓ Esquema ilustrando a **transcrição de uma sequência de DNA** em RNAm. A enzima RNA polimerase não está representada.



Oswaldo Sequeitri/Arquivo da editora

DIVULGAÇÃO PNLD

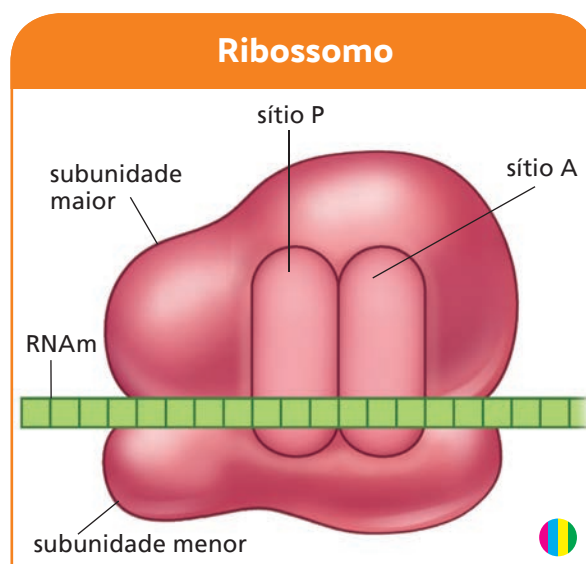
## 2.2 Tradução

A **tradução** é a etapa na qual as “letras” do RNAm vão determinar a produção de uma sequência de aminoácidos, resultando a formação de uma proteína ou polipeptídeo. Podemos fazer a seguinte comparação: na tradução, o “idioma” dos ácidos nucleicos é transformado no “idioma” das proteínas, outro grupo de compostos orgânicos.

O processo de tradução ocorre nos ribossomos. Essas estruturas são constituídas de **RNA-ribossômico (RNAr)** associado a proteínas, e são organizadas em duas subunidades, de tamanhos diferentes. O RNA-ribossômico é produzido no núcleo, em uma região chamada **nucléolo**; depois de produzidos no nucléolo, os RNAr formam as subunidades do ribossomo que saem do núcleo e passam para o citoplasma, onde vão compor os ribossomos.

Na subunidade maior do ribossomo, podemos identificar duas regiões conhecidas por **sítio A** e **sítio P**, que se relacionam, respectivamente, à entrada de aminoácidos e à presença de polipeptídeo (associação de aminoácidos). A subunidade menor é a região à qual se associa o RNAm proveniente do núcleo da célula.

✓ Esquema simplificado mostrando a estrutura de um **ribossomo**, com indicação dos sítios A e P.



Oswaldo Sequeitri/Arquivo da editora



## ATENÇÃO

O **código genético** é universal porque a correspondência dos códons e aminoácidos é a mesma em qualquer espécie de ser vivo. Lembre-se de que os ácidos nucleicos e as proteínas estão presentes em todos os seres vivos.

Veja comentários a respeito do código genético no Manual.

- ✓ Modelo plano da estrutura do **RNA transportador**. As letras indicam nucleotídeos de RNA (A = adenina; G = guanina; C = citosina; U = uracila).

Os aminoácidos que chegam ao ribossomo penetram pelo sítio **A** e são selecionados pelo RNAm. Uma vez aceitos, são incorporados ao polipeptídeo, e utilizados na síntese da proteína no sítio **P**; os aminoácidos não aceitos pelo RNAm não são incorporados.

Como se dá o reconhecimento de um aminoácido pelo RNAm?

Existe uma espécie de “senha”, conhecida por **código genético universal**. Cada sequência de três nucleotídeos, a partir do início do filamento de RNAm, é chamada de **códon**.

Cada um desses códons orienta o posicionamento de um aminoácido específico na proteína. Existem 64 códons diferentes, formados pela combinação dos quatro tipos de nucleotídeos (A, U, C, G) em trincas.

Na sequência de RNAm que estamos adotando como exemplo, quantos códons existem? Observe:

RNAm: A U G U U C G G C  
códon 1      códon 2      códon 3

A partir do início da cadeia de RNAm, contamos nove nucleotídeos. Um códon é uma sequência de três nucleotídeos; assim, nosso exemplo possui três códons: AUG, UUC e GGC.

Você já sabe que existem vinte aminoácidos diferentes. Como foram detectados 64 códons no código genético e cada um deles corresponde a um único aminoácido, você pode facilmente perceber que um aminoácido pode corresponder a mais de um códon.

Veja o exemplo do aminoácido histidina: seu posicionamento na proteína em tradução pode ser determinado pelos seguintes códons de RNAm: CAU e CAC. Esses dois códons, CAU e CAC, correspondem apenas à histidina e a nenhum outro aminoácido.

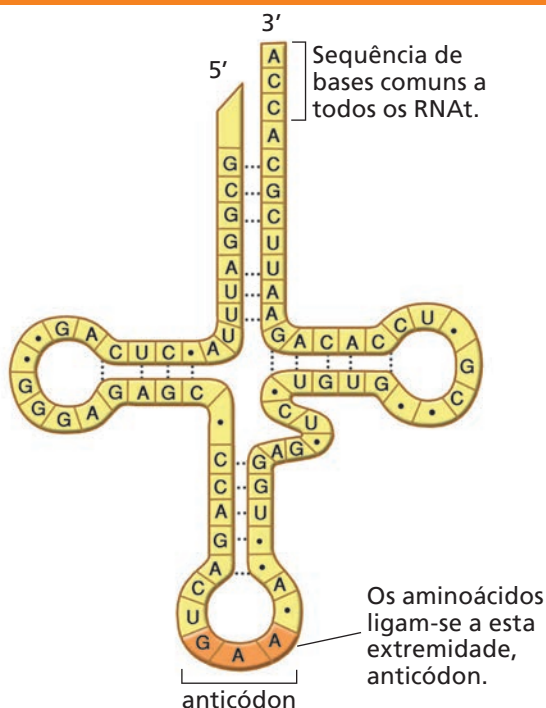
A entrada de aminoácidos no sítio **A** do ribossomo ocorre por uma molécula “transportadora”. Essa molécula é outro tipo de ácido ribonucleico, chamado **RNA transportador (RNAt)**. Sua produção ocorre no núcleo da célula, assim como os outros tipos de RNA.

Em uma das extremidades do RNAt, existe um sítio de ligação para um aminoácido. Na extremidade oposta, há uma trinca de bases nitrogenadas: o **anticódon**. Cada anticódon corresponde a um aminoácido específico e, assim, a ligação de um aminoácido ao RNAt é específica.

Quando o RNAt entra no ribossomo, deve ocorrer o reconhecimento entre o códon do RNAm e o anticódon, isto é, a trinca de bases do RNAt deve ser complementar à tríade do RNAm.

Observe a figura na página a seguir, que representa a tradução de um códon. Esse processo envolve o RNAm, moléculas de RNAt e ribossomos.

## RNA transportador



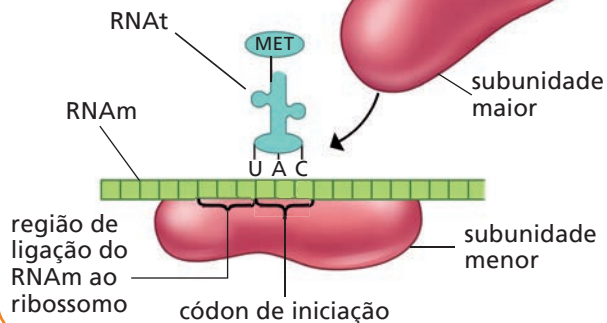
Para cada aminoácido há um anticódon correspondente.



# Síntese proteica

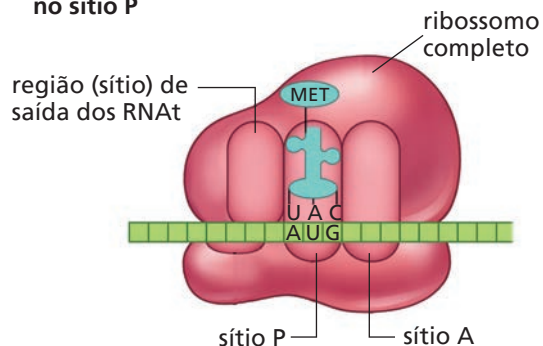
1

Início: associação do ribossomo



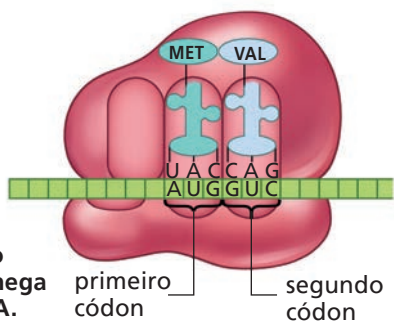
2

Códon de iniciação no sítio P



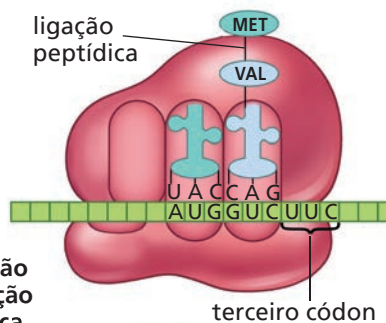
3

Segundo códon chega ao sítio A.



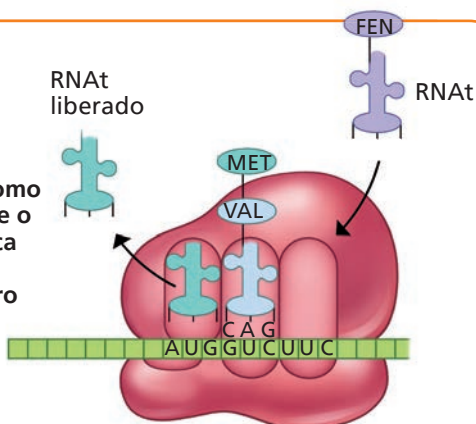
4

Formação da ligação peptídica.



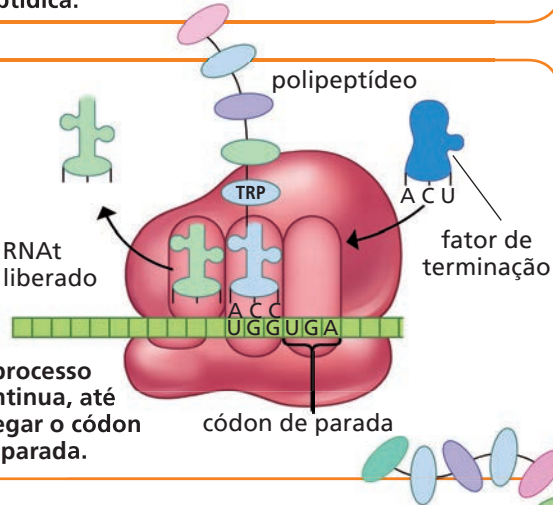
5

O ribossomo se move e o sítio A fica liberado para outro RNAt.



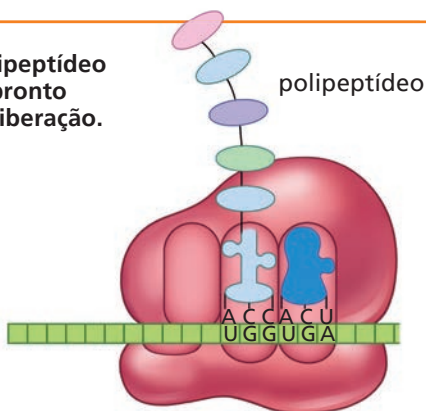
6

O processo continua, até chegar o códon de parada.



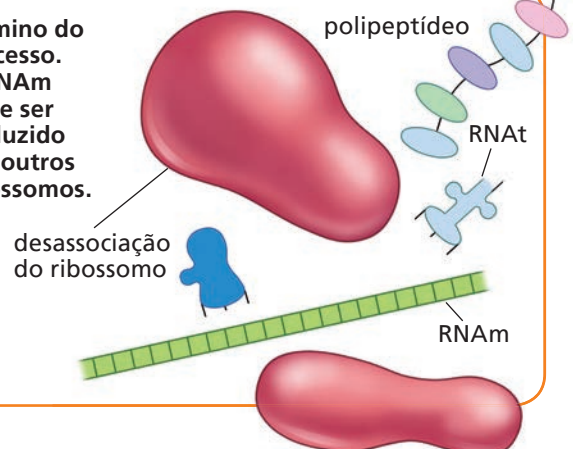
7

O polipeptídeo está pronto para liberação.



8

Término do processo. O RNAm pode ser traduzido por outros ribossomos.



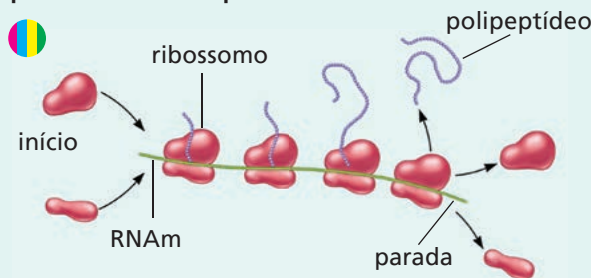
As figuras estão representadas em diferentes escalas.





## CURIOSIDADE

Assim que o RNAm deixa o núcleo e chega ao citoplasma, subunidades dos ribossomos começam a se acoplar junto ao códon de iniciação, em uma extremidade da molécula. Um ribossomo inicia a transcrição, deslocando-se ao longo da fita de RNAm até chegar ao códon de parada, quando suas subunidades se desassociam. Enquanto isso, novos ribossomos se acoplam à extremidade inicial do RNAm. Dessa forma, várias cópias da proteína são sintetizadas. O conjunto de ribossomos aderidos a um RNAm é chamado **polirribossomo** ou **polisomo**.



Esquema ilustrando um **polirribossomo**. Por simplificação, representamos apenas 4 ribossomos realizando simultaneamente a tradução de um RNAm.

Repare, pela figura 1 da página anterior, que o sítio P é primeiramente ocupado pelo RNAt que carrega o aminoácido metionina. Ele é codificado por apenas um códon: AUG, que corresponde ao códon TAC no DNA. Essa tríade também é chamada de **códon de iniciação**, pois sempre o primeiro aminoácido de uma cadeia polipeptídica é determinado por esse códon.

Lembra-se do nosso fragmento de gene? Ele havia gerado um RNAm com três códons: AUG.UUC.GGC.

Cada códon serve de código para um aminoácido e, portanto, o peptídeo codificado por esse fragmento de gene teria três aminoácidos. O primeiro deles, como você já sabe, seria a metionina, correspondente ao códon AUG.

Podemos saber quais seriam os outros dois aminoácidos consultando uma tabela do código genético universal, como a que está a seguir, organizada em códons de RNAm. Também é possível encontrar tabelas organizadas em códons de DNA. Repare que existem três códons que determinam o término da tradução, e não correspondem a nenhum aminoácido.

## Segunda base

		U	C	A	G		
Primeira base	U	UUU } Fenilalanina (FEN) UUC } UUA } Leucina (LEU) UUG }	UCU } UCC } Serina (SER) UCA } UCG }	UAU } Tirosina (TIR) UAC } <b>UAA</b> } <b>Códons de parada</b> <b>UAG</b> }	UGU } Cisteína (CIS) UGC } <b>UGA</b> } <b>Códon de parada</b> UGG } Triptofano (TRP)	U C A G	Terceira base
	C	CUU } CUC } Leucina (LEU) CUA } CUG }	CCU } CCC } Prolina (PRO) CCA } CCG }	CAU } Histidina (HIS) CAC } CAA } Glutamina (GLN) CAG }	CGU } CGC } Arginina (ARG) CGA } CGG }	U C A G	
	A	AUU } AUC } Isoleucina (ILE) AUA } <b>AUG</b> } Metionina (MET) ou códon de iniciação	ACU } ACC } Treonina (TRE) ACA } ACG }	AAU } Asparagina (ASN) AAC } AAA } Lisina (LIS) AAG }	AGU } Serina (SER) AGC } AGA } Arginina (ARG) AGG }	U C A G	
	G	GUU } GUC } Valina (VAL) GUA } GUG }	GCU } GCC } Alanina (ALA) GCA } GCG }	GAU } Aspartato (ASP) GAC } GAA } Glutamato (GLU) GAG }	GGU } GGC } Glicina (GLI) GGA } GGG }	U C A G	

Consultando a tabela do código genético universal, vemos que a sequência de nucleotídeos que adotamos como exemplo corresponde a um peptídeo formado pelos aminoácidos metionina, fenilalanina e glicina, nesta ordem.

Como praticamente todas as funções celulares envolvem proteínas, o processo de síntese proteica explica como o DNA comanda as atividades da célula e, indiretamente, as características de um indivíduo.

### 3 Mutações no material genético

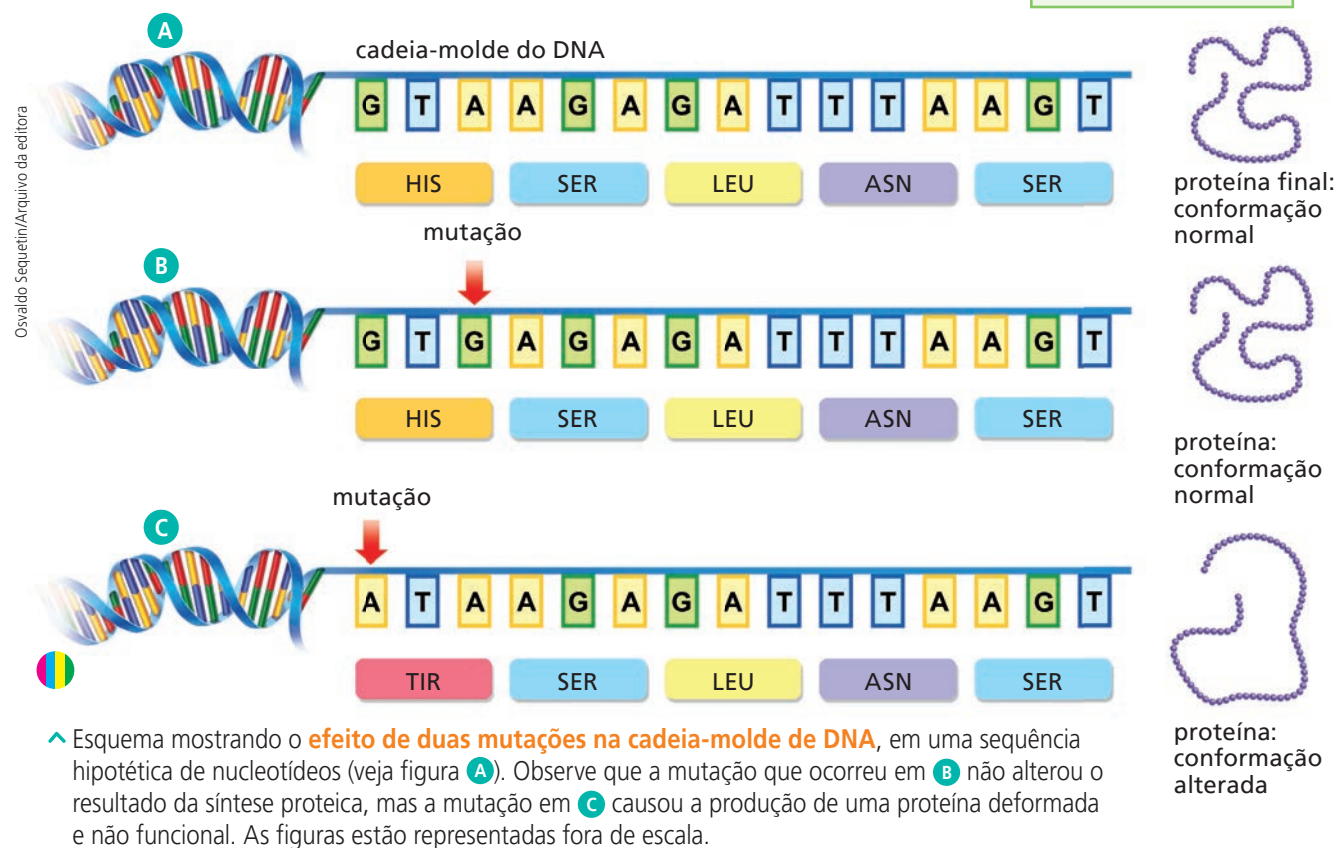
**Mutações** são alterações que ocorrem no material genético, ou seja, na sequência de nucleotídeos que formam as cadeias do DNA. Nucleotídeos podem ser substituídos, perdidos ou acrescentados, modificando a sequência original. Essas mutações podem ser espontâneas ou provocadas por agentes mutagênicos, como radiação ou substâncias químicas.

No núcleo celular existem enzimas que compõem um verdadeiro **sistema de reparo**, corrigindo alterações na sequência de nucleotídeos após a duplicação do DNA, na interfase. Algumas mutações, no entanto, podem “escapar” da ação dessas enzimas.

As consequências de uma mutação no DNA variam de acordo com alguns fatores:

- ▶ **local da mutação** – os cientistas descobriram que cerca de 95% do DNA humano não corresponde a genes: são regiões que não codificam proteínas. Se a mutação ocorre em um gene, podem acontecer alterações na síntese de uma proteína.
- ▶ **tipo de mutação** – substituições de nucleotídeos nem sempre resultam na alteração da proteína.

Analisar o esquema a seguir e prossiga a leitura para compreender as diferentes consequências de uma mutação gênica.



MULTIMÍDIA

#### DNA: Mutação

<<http://www.bdc.ib.unicamp.br/bdc/visualizarMaterial.php?idMaterial=1198#VuWr24wrLos>>

Neste simulador, você poderá compreender os diferentes tipos de mutação no DNA. O material foi produzido pelo Prof. Dr. Eduardo Galembeck e colegas, da Universidade Estadual de Campinas, SP. Acesso em: 12 mar. 2016.



Reprodução


**REÚNA-SE COM  
OS COLEGAS**

Com dois colegas, resolva a atividade proposta. Vamos utilizar uma analogia entre as letras do alfabeto com a tradução dos códons de DNA. Copiem no caderno a seguinte frase: O RATO ROEU A ROUPA. Reparem que a frase é formada por cinco palavras, com a seguinte disposição de letras:

★ ★★ ★★ ★★ ★★  
★ ★★ ★★ ★★

Façam as alterações pedidas a seguir, sem, no entanto, alterar a disposição de letras na frase.

- Qual será o efeito, no sentido da frase, da substituição da segunda letra por G?
- Qual será o efeito da substituição da sexta letra da frase pela letra M?
- Qual será o efeito da adição da letra A após a quarta letra da frase?
- Qual será o efeito da retirada da segunda letra da frase?
- Compare os efeitos de cada tipo de alteração no sentido da frase original.

a) O **G**ATO ROEU A ROUPA.  
b) O RATO **M**OEU A ROUPA.  
c) O RATO **A**ROEU U AROUP.  
d) O **A**TOR OEUA R OUPA.  
e) A adição e a retirada de letra deixaram a frase sem sentido. A substituição de letras alterou o significado da frase.

nucleotídeo do códon fosse substituído (A por G ou G por A), haveria alteração do códon, mas não do aminoácido. Assim, a proteína formada não teria nenhum aminoácido diferente em sua estrutura primária. Foi o que representamos na figura B, em que ocorreu uma mutação no DNA, com a substituição de A por G.

Se a substituição de nucleotídeo ocorresse na primeira ou na segunda base do códon, a probabilidade de não haver alterações no aminoácido codificado seria bem menor. Nesses casos, a mutação provavelmente alteraria o códon de modo que ele passaria a codificar outro aminoácido. Considere que, no DNA, a sequência GTA tivesse a primeira base substituída por um nucleotídeo de adenina: haveria substituição do aminoácido histidina (determinado pelo códon GTA) pelo aminoácido tirosina (determinado pelo códon ATA), conforme você pode conferir na tabela de código genético (não se esqueça de que a tabela apresentada no livro mostra os códons de RNAm, e não de DNA). Assim, a cadeia polipeptídica ficaria alterada e a proteína gerada poderia ser diferente. Dependendo da região da proteína e do aminoácido substituído, a proteína pode perder sua forma espacial característica e, conseqüentemente, não exercerá sua função.

Existem outros tipos de mutação gênica, além da substituição de nucleotídeos, como a adição ou a retirada de um nucleotídeo da sequência de DNA. Nesses casos, sempre há alterações nos códons seguintes ao local da mutação.

Mutações no DNA, como as que vimos aqui, podem ser transmitidas aos descendentes, quando ocorrem nos gametas ou nas células que irão formá-los.

## 4 Biotecnologia e engenharia genética

O termo **biotecnologia** resulta da união de *bio* (vida), *techno* (técnicas) e *logos* (estudo). Assim, a biotecnologia é a área de estudo das técnicas que utilizam seres vivos para a obtenção de produtos de interesse humano. Essas técnicas resultam na modificação de seres vivos, com determinadas finalidades.

A utilização de micro-organismos na produção de alimentos é um dos exemplos mais antigos de biotecnologia. A levedura que transforma a massa de farinha em pão e as bactérias que produzem vinho ou vinagre a partir de frutas são exemplos de técnicas muito antigas que utilizam seres vivos.

A agricultura e a pecuária foram as primeiras atividades humanas a utilizarem biotecnologia, na seleção artificial de espécies e de indivíduos para melhor cultivo/criação. Ao selecionar as sementes dos frutos mais doces, ou o boi mais forte do rebanho para a reprodução, o ser humano promove “melhoramento genético”, escolhendo, dentre diversos fenótipos, aqueles que suprem os seus objetivos. Depois de muitas gerações de cruzamentos controlados, podem-se obter variedades dentro de uma espécie que certamente não existiriam naturalmente. É o caso de muitas plantas que consumimos: seus parentes selvagens geralmente não possuem folhas ou frutos tão grandes e vistosos.

Atualmente, além da seleção por meio dos cruzamentos, o ser humano consegue modificar as características de um indivíduo alterando diretamente seus genes. Essas modificações, produzidas em laboratório, podem gerar indivíduos com fenótipos diferentes, portando características de interesse. O conjunto de técnicas que permitem a manipulação de genes e alteração de seres vivos é chamado de **engenharia genética**.

Veremos a seguir alguns exemplos de técnicas de engenharia genética: a produção de organismos geneticamente modificados (transgênicos), o projeto genoma, a terapia gênica e as técnicas de clonagem.



## 4.1 Organismos geneticamente modificados

Os **organismos geneticamente modificados** (OGMs) ou **transgênicos** são os que possuem em seu material genético fragmentos de DNA ou genes de indivíduos de outra espécie.

Essa manipulação genética depende de enzimas obtidas de bactérias capazes de “cortar” sequências de DNA, gerando fragmentos. Nas bactérias, essas enzimas exercem um importante papel de defesa, fragmentando DNA de vírus que as parasitam. Conhecidas como **enzimas de restrição**, elas são utilizadas nos laboratórios de biologia molecular, para isolar e obter genes de interesse.

Além das enzimas de restrição, existem as enzimas **DNA ligases**, que promovem a união entre fragmentos de DNA, unindo o gene de interesse no material genético de outra célula. Essa “troca” de genes pode ocorrer até entre células de indivíduos de espécies diferentes, pois o código genético, constituído de sequências de nucleotídeos A, T, C e G, é o mesmo para todos os seres vivos.

O material genético que recebe genes provenientes de outros organismos é chamado de **DNA recombinante**. Quando o DNA recombinante é inserido em um ser vivo, como uma bactéria, uma planta ou um animal, dizemos que o organismo é geneticamente modificado ou transgênico.

São exemplos de seres transgênicos bactérias modificadas em laboratório que sintetizam insulina humana, utilizada, sob orientação médica, como tratamento de um tipo de diabetes. Muitas plantas transgênicas têm sido produzidas para criar variedades resistentes a pragas, a geadas ou à aplicação de pesticidas na lavoura, para citar apenas algumas características de interesse.

As técnicas de produção de organismos transgênicos são variadas e dependem, entre outros fatores, do ser vivo a ser modificado. Na transformação de células animais e vegetais, muitas técnicas utilizam micro-organismos como vírus ou bactérias para introduzir os genes de interesse no DNA dessas células. Ao inserir seus próprios genes na célula hospedeira, o vírus ou a bactéria parasita insere também os genes de interesse. Quando as células modificadas realizam síntese proteica, os genes introduzidos codificam a produção de proteínas que a célula hospedeira normalmente não produziria.

O tema dos transgênicos tem sido muito discutido, não só entre cientistas, mas por toda a sociedade. A utilização de OGMs na alimentação de animais e de pessoas gera polêmica. Pesquisadores envolvidos na produção de alimentos transgênicos garantem que há uma série exaustiva de testes antes de esses alimentos serem liberados para consumo, o que os tornaria seguros. Outros aspectos, porém, entram na discussão, como questões políticas, econômicas e ambientais.



### ATENÇÃO

Com o desenvolvimento de técnicas cada vez mais sofisticadas para manipulação do DNA, as **pesquisas em engenharia genética** rapidamente se diversificam. Acompanhe esse desenvolvimento consultando jornais, revistas e **sites** confiáveis de divulgação científica. Compartilhe com o professor e com os colegas o que achar mais interessante, complementando e atualizando seu estudo.

Uma animação simples, que utiliza as analogias de tesoura para enzimas de restrição e cola para a DNA ligase, é um recurso multimídia interessante, disponível no link: <http://www.bdc.ib.unicamp.br/bdc/visualizarMaterial.php?idMate>. Acesso em: 28 mar. 2016.



Thiago Oliver/Acervo do fotógrafo

➤ No Brasil, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) determina, desde 2003, que os alimentos contendo substâncias extraídas de **organismos transgênicos** tenham um símbolo e um aviso em seus rótulos (conforme destacado). Pela Lei de Biossegurança, o desenvolvimento de OGMs, o cultivo ou criação e seu uso em alimentos devem ser fiscalizados e seguir normas de segurança. Os alimentos orgânicos não utilizam plantas ou animais que tenham sido geneticamente modificados.

As resoluções da Anvisa acerca dos OGMs estão disponíveis no link: <http://portal.anvisa.gov.br/wps/content/Anvisa+Portal/Anvisa/Inicio/Alimentos/Assuntos+de+Interesse/Alimentos+Geneticamente+Modificados>. Acesso em: 12 mar. 2016.

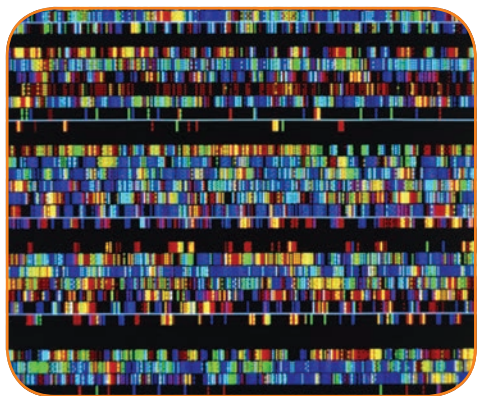


University of Pennsylvania

➤ Filhotes de camundongos expostos à iluminação especial. **Os camundongos verdes são transgênicos**: expressam uma proteína fluorescente, natural de uma espécie de água-viva. Eles medem cerca de 7 cm de comprimento.



- ▶ **Folhas de laranjeira infectadas pela bactéria *Xylella fastidiosa***, que causa o “amarelinho”. A partir do sequenciamento do genoma dessa bactéria, espera-se desenvolver uma técnica eficaz de combate a essa praga.



- ▶ As faixas coloridas representam uma amostra de **DNA humano sequenciado**. Essa foi uma das formas usadas pelos cientistas para analisar, em computador, as sequências de nucleotídeos que formam cada cromossomo humano, no Projeto Genoma Humano.



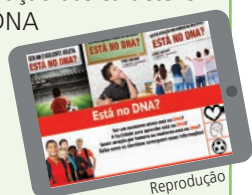
#### MULTIMÍDIA

##### Centro de Pesquisa sobre o Genoma Humano e Células-tronco

<<http://www.ib.usp.br/biologia/projetosemear/estanodna/>>

Neste site, de um centro de pesquisa da Universidade de São Paulo, você pode ler a respeito da determinação das características humanas pelo DNA e conhecer o que fazem os pesquisadores, entre outros temas curiosos.

Acesso em: 12 mar. 2016.



Reprodução

## 4.2 Projeto Genoma

Chama-se **genoma** o conjunto de todos os genes encontrados nas células de um organismo. O genoma de um ser vivo é, na verdade, a sequência de nucleotídeos encontrados nas moléculas de DNA encontradas em suas células somáticas. Lembre-se de que cada molécula de DNA corresponde a um cromossomo, localizado no núcleo da célula.

Em 1999, cientistas de todo o mundo, trabalhando em parcerias, já haviam concluído o sequenciamento de mais de vinte genomas, como o de algumas espécies de bactérias, de um verme nematoide e da mosca-das-frutas (*drosófila*). Sequenciar o genoma significa obter a sequência linear dos nucleotídeos do DNA que compõe cada cromossomo de uma determinada espécie – uma única molécula de DNA pode apresentar centenas de milhões de pares de bases.

No ano 2000, uma equipe de cientistas brasileiros concluiu o sequenciamento do genoma da bactéria da espécie *Xylella fastidiosa*, parasita de células vegetais que causa a doença conhecida como “amarelinho”, uma praga em plantações de laranjeiras. Esse resultado teve repercussão mundial. Com o conhecimento do genoma dessa bactéria, pretende-se descobrir maneiras de acabar com a praga usando a engenharia genética, diminuindo o uso de pesticidas e os prejuízos com as perdas no cultivo da laranja.

Em 1990, teve início o **Projeto Genoma Humano**, que contou com o apoio de instituições públicas e particulares de vários países, inclusive do Brasil. Estimava-se que, com 23 pares de cromossomos, o ser humano apresentasse mais de 100 mil genes – até então eram conhecidos pouco mais de 4 500 genes humanos. O principal desafio do PGH era distinguir, nas longas sequências de A, T, C e G, os genes e sua localização.

A enorme sequência de nucleotídeos do genoma humano foi finalmente publicada em fevereiro de 2001. O reconhecimento de genes levou a um resultado considerado surpreendente: cerca de 30 mil genes, número bem menor do que o esperado.

Descobriu-se que cerca de 95% das sequências de nucleotídeos do DNA do ser humano não corresponde a genes, ou seja, essas sequências não codificam, diretamente, a síntese de uma ou mais proteínas. Na época, essa elevada porcentagem de DNA não codificante foi apelidada de “DNA lixo”. O termo, no entanto, não é adequado, porque pode passar a impressão de que a maior parte do DNA humano não tem função. Estudos em biologia molecular buscam compreender a origem evolutiva de tais regiões do DNA e têm identificado importantes funções dessas sequências no genoma humano.

Conhecer o genoma humano tem sido fundamental para entender a transmissão hereditária de diversas características, as interações entre genes, a variabilidade de certos caracteres dentro da espécie humana e até questões de parentesco evolutivo entre espécies.

Uma aplicação direta de tal conhecimento é a realização de exames que indicam a presença ou ausência de certos alelos no genoma de um indivíduo. No caso de doenças genéticas hereditárias, esses exames fazem parte do aconselhamento genético, que auxilia as pessoas no planejamento familiar.

### 4.3 Terapia gênica

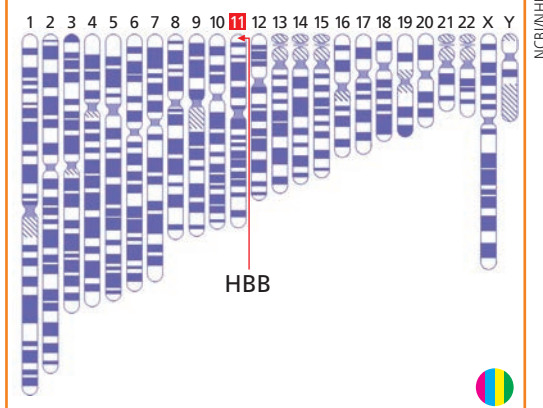
O conhecimento do genoma humano e os avanços das técnicas para a manipulação de genes têm permitido o desenvolvimento da **terapia gênica**, que consiste no tratamento de doenças por meio da tecnologia do DNA recombinante. Ela tem sido desenvolvida principalmente para doenças monogênicas, ou seja, causadas pela presença de um alelo de um único gene, e funciona pela introdução do alelo normal nas células dos tecidos que manifestam a doença. Essa modificação é feita em laboratório (*in vitro*) e depois as células modificadas são novamente inseridas no indivíduo, que passa a expressar o fenótipo normal. As células que expressam o gene da doença e que não foram retiradas para a modificação são destruídas, para não prejudicar o efeito da terapia.

Existem diversas técnicas de terapia gênica, como a que utiliza vírus atenuados para introduzir o DNA recombinante nas células da pessoa (veja a ilustração abaixo).

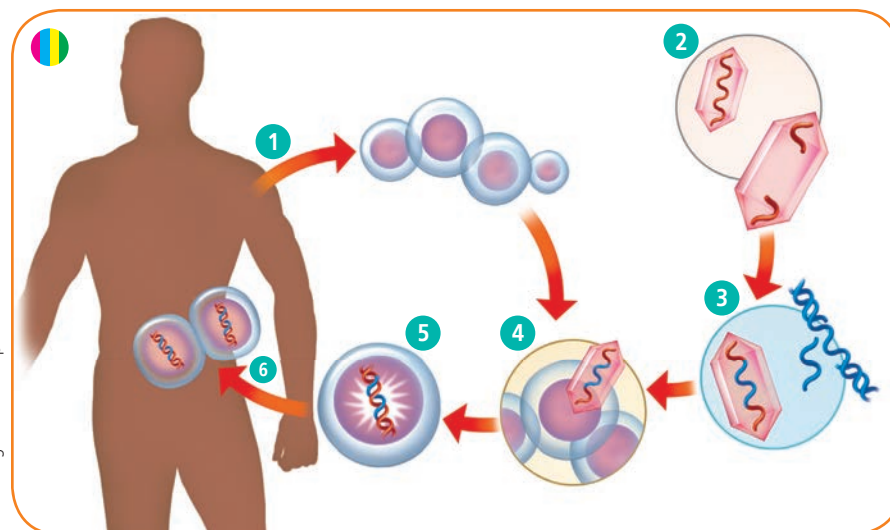
A **vacina gênica**, ou vacina de DNA, é mais uma promissora técnica em desenvolvimento. Estima-se que possa ser usada no combate de doenças infecciosas, como herpes, malária, aids e tuberculose.

Uma equipe de cientistas brasileiros vem, desde 1990, pesquisando e aprimorando uma vacina gênica contra tuberculose, capaz de prevenir o desenvolvimento da doença e também de tratá-la quando ela já está estabelecida. Para a produção dessa vacina, os cientistas retiram do agente causador da doença – a bactéria conhecida como bacilo de Koch – o fragmento de DNA que comanda a produção de antígenos que induzem o sistema imunitário humano a produzir anticorpos contra esse agente. Esses fragmentos de material genético são inoculados no ser humano e incorporados por células do sistema imunitário, que passam a produzir os anticorpos específicos.

#### Cromossomos das células humanas



Esquema representando os **cromossomos humanos**, mapeados de acordo com a localização dos genes em cada um deles. Como exemplo, indicamos a localização aproximada do gene HBB, que condiciona a síntese de parte da molécula de hemoglobina. Quando a pessoa herda dois alelos mutantes desse gene, a produção de hemoglobina é afetada, caracterizando a anemia falciforme.



- 1 Células são removidas do paciente.
- 2 No laboratório, vírus são modificados para perderem sua capacidade reprodutiva.
- 3 O gene de interesse, com os alelos normais, são inseridos no material genético do vírus.
- 4 Os vírus modificados são misturados à cultura de células do paciente e as infectam.
- 5 O DNA viral se incorpora ao DNA das células.
- 6 As células recombinantes são inseridas no paciente.

Esquema ilustrando uma técnica de **terapia gênica**, que utiliza vírus como vetores do DNA recombinante.

A pesquisa de vacina gênica para tuberculose é um projeto de pesquisa coordenado pelo Dr. Célio Lopes Silva, da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo. Saiba mais em: <http://www.scielo.br/pdf/%0D/jbpneu/v30n4/v30n4a13.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2016.



Resposta pessoal. Oriente os alunos a não reproduzirem informações que não compreendem, e sim buscar entender os conceitos contidos nas reportagens escolhidas.



#### REÚNA-SE COM OS COLEGAS

- Você vai precisar de: jornais ou revistas, cartolinas ou folhas grandes de papel, canetas hidrográficas, régua, tesoura e cola.
- Procure, no intervalo de uma semana, reportagens em jornais, revistas ou sites com o tema biotecnologia. Selecione o artigo, recortando-o, copiando-o ou fazendo um resumo em seu caderno, e leve para a aula no dia combinado com seu professor.
- Reúna-se com sua equipe. Todos devem mostrar as reportagens selecionadas e descrevê-las aos colegas. Discutam os aspectos éticos envolvidos nos temas abordados.
- Elaborem um cartaz, um *blog* ou um seminário, expondo o que foi pesquisado. As informações devem ser claras e acompanhadas de desenhos ou esquemas que facilitem o entendimento.



#### RECORDE-SE

##### Meristemas

Tecidos vegetais formados por células indiferenciadas, com capacidade de divisão celular constante. Algumas células vegetais já diferenciadas podem readquirir a capacidade de divisão, constituindo os meristemas secundários.

## 4.4 Clonagem

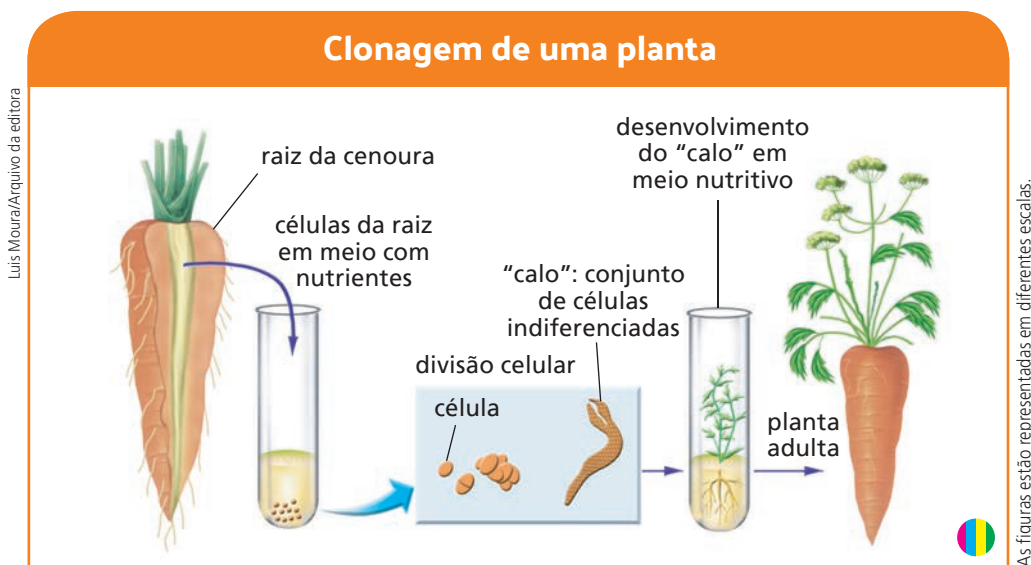
A clonagem pode ser entendida como a obtenção de indivíduos ou de estruturas idênticas ao que foi selecionado.

A clonagem de indivíduos é feita normalmente por tecnologia de reprodução, processo bem diferente da clonagem de fragmentos de DNA, obtido por tecnologia de engenharia genética.

No caso da clonagem de DNA, o objetivo é a produção de cópias idênticas de um determinado trecho de DNA, especialmente selecionado.

Esses trechos de DNA, uma vez implantados em organismos, associam-se ao material genético do receptor, constituindo o DNA recombinante. Micro-organismos como bactérias são muito usados com tal finalidade. Com a reprodução dessas bactérias, obtêm-se numerosas cópias do material genético, todas idênticas, portando o DNA recombinante. É o que se chama de **clonagem de DNA**, ou **clonagem gênica**. Essa tecnologia é utilizada na produção de organismos transgênicos e na terapia gênica, que vimos há pouco.

A obtenção de clones de indivíduos inteiros é um processo relativamente simples em plantas. É possível obter indivíduos idênticos a partir de um original, selecionando-se células meristemáticas, que mantêm características embrionárias mesmo na planta adulta. Essas células estão presentes em diversos órgãos da planta adulta, como nos ápices da raiz e do caule e no cilindro vascular.



Em animais, a obtenção de clones pelo processo de reprodução não é procedimento recente. Após a fecundação, o ovo divide-se sucessivamente por mitose, no processo inicial do desenvolvimento embrionário. Logo no início, quando ainda são poucas as células resultantes da mitose, é possível separá-las e implantá-las no útero de diferentes fêmeas. Essas células podem multiplicar-se e desenvolver-se e, assim, serão gerados filhotes idênticos: os **clones**, verdadeiros irmãos gêmeos univitelinos.

As primeiras tentativas de clonagem em animais utilizando a técnica que acabamos de descrever foram feitas em 1952, com células embrionárias de anfíbios. Os primeiros resultados positivos, com a obtenção de girinos clonados, foram alcançados na década de 1970.

Atualmente, tem sido possível a clonagem a partir de células de indivíduos adultos. A ovelha Dolly foi o primeiro caso de animal clonado dessa maneira. Uma célula somática foi retirada de uma ovelha adulta e seu núcleo foi implantado em um óvulo produzido por outra fêmea, do qual foi retirado o material genético.

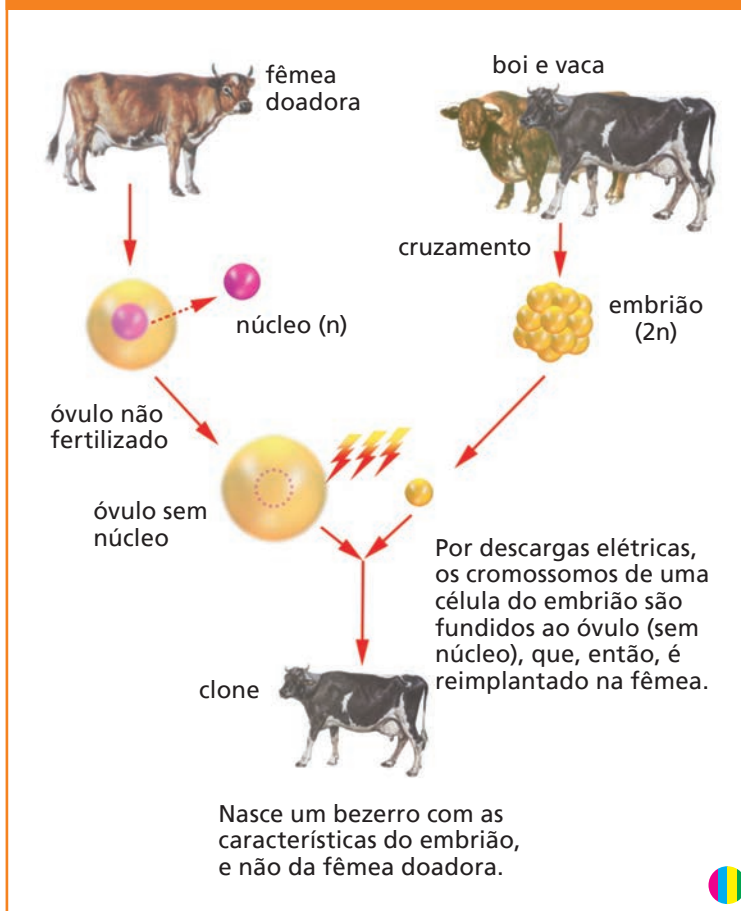
Esse óvulo, contendo o núcleo de uma célula somática do indivíduo adulto, foi implantado no útero de uma fêmea pertencente à outra variedade de ovelhas. O óvulo se desenvolveu, dando origem à Dolly.

Técnica semelhante foi utilizada para obter a bezerra Vitória, resultado de pesquisas com clonagem animal feitas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa. A principal diferença nos procedimentos da produção da ovelha Dolly e da bezerra Vitória é que, no segundo caso, o núcleo implantado no óvulo anucleado era proveniente de uma célula embrionária, e não somática.

As técnicas de clonagem têm como objetivo gerar organismos com genomas idênticos, mas o fenótipo de um clone pode não ser idêntico ao do indivíduo clonado (doador do material genético nuclear implantado em outra célula). Isso ocorre essencialmente por dois motivos:

- o genótipo sempre interage, de forma complexa, com as condições do ambiente para determinação do fenótipo. Assim, não há como garantir que as condições de desenvolvimento, desde o embrião, serão as mesmas para dois indivíduos.
- existe DNA dentro das mitocôndrias, que, nos organismos clonados, vem do citoplasma do óvulo que teve seu material genético retirado.

### Técnica de clonagem utilizada pela Embrapa, em 2001, na obtenção da bezerra Vitória



Luís Moura/Arquivo da editora

As figuras estão representadas em diferentes escalas.



Najlah Feanny/Corbis/Latinstock

➤ A **ovelha Dolly** nasceu em 1996 e foi sacrificada, sete anos depois, com sintomas de envelhecimento precoce.



## ATIVIDADE PRÁTICA

### Como os cientistas manipulam o DNA?

A molécula de DNA, como você já sabe, possui dimensões submicroscópicas. Como é possível analisar uma amostra de DNA, compará-la com outras amostras, criar DNA recombinante? Essas e outras técnicas complexas da engenharia genética apresentam uma etapa comum: o corte do DNA em fragmentos usando enzimas de restrição. Vamos utilizar um modelo para entender esse processo. Reúna-se com um ou dois colegas e realizem a atividade, sob orientação do professor.

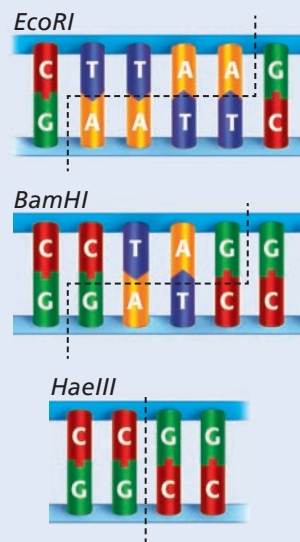
#### < Material necessário >

- Papel-cartão ou cartolina, de 3 cores diferentes;
- tesoura sem ponta;
- canetas coloridas;
- fita adesiva.

**! ALERTA**  
A atividade deve ser feita apenas sob a supervisão do professor.

#### < Procedimentos >

1. Criem uma sequência de 50 nucleotídeos de DNA, usando as letras A, T, C e G, em ordem aleatória, mas tomando um cuidado: as três sequências destacadas abaixo devem constar da que está sendo criada por sua equipe. Elas podem aparecer mais de uma vez ao longo da cadeia de nucleotídeos.
2. Escrevam a sequência complementar à cadeia-molde que vocês fizeram no item anterior. Esta será a "molécula de DNA" a ser manipulada.
3. Façam duas cópias da cadeia de nucleotídeos (molécula de DNA) criada nos itens anteriores, utilizando cores diferentes de papel. Recortem as três cadeias, obtendo três tiras de papel.
4. Observem a ilustração ao lado. Ela indica a sequência de nucleotídeos reconhecida pela enzima de restrição *EcoRI*. Quando essa enzima reconhece tal sítio no DNA, ela promove a separação entre as duas cadeias de nucleotídeos, conforme indicado pelo tracejado. Escolham uma das tiras de papel para ser a amostra de DNA que sofrerá ação da enzima *EcoRI*. Utilizem a tesoura para representar a função da enzima e recortem a tira de acordo com o tracejado, toda vez que a sequência reconhecida por *EcoRI* aparecer na cadeia de DNA.
5. Escolham outra tira de papel para ser a amostra de DNA que sofrerá a ação de outra enzima de restrição, chamada *BamHI*. Veja ao lado qual é a sequência de nucleotídeos reconhecida por *BamHI* e qual é a região de corte.
6. Repitam o procedimento com a terceira tira, representando a amostra de DNA que sofrerá a ação da enzima de restrição *HaeIII*.



Equipe NATH/Osvaldo Sequeirin/Arquivo da editora

- a) Resposta pessoal.  
b) Consulte o Manual.

#### < Interpretando os resultados >

- a. Qual das enzimas de restrição produziu maior número de fragmentos? E qual produziu o menor?
- b. O gel de agarose é usado em procedimento de separação de fragmentos moleculares por eletroforese. Busquem informações a respeito desse procedimento e, em seguida, esquematizem qual seria a posição relativa dos fragmentos de DNA obtidos em um gel. Quais fragmentos percorreriam maior distância no gel? Por quê?

#### < Indo além >

Representem a função da enzima DNA ligase: procurem entre os fragmentos de DNA obtidos por outras equipes aqueles que sejam complementares às extremidades dos fragmentos que vocês obtiveram. Com fita adesiva, vocês podem unir esses fragmentos. Comparem esse procedimento com a obtenção de DNA recombinante.

Resposta pessoal. A fita adesiva, ou uma cola, é uma analogia à função da DNA ligase, que promove a união de fragmentos de DNA pelo emparelhamento específico dos nucleotídeos.





## Reformulações no conceito de gene

Tradicionalmente, aprendemos que **gene** é uma unidade do cromossomo, que corresponde a uma sequência de nucleotídeos da molécula de DNA, com as informações para a síntese de uma proteína. Essas informações são transcritas em uma molécula de RNA mensageiro.

Com o sequenciamento do genoma humano, os pesquisadores encontraram, no entanto, evidências de que o DNA funciona de maneira mais complexa do que se imagina. Um único gene

pode, por exemplo, produzir tipos diferentes de RNAm, cada um codificando a produção de uma proteína diferente. É como se existissem genes dentro de genes! Além disso, uma mesma molécula de RNAm pode sofrer alterações após a transcrição, também resultando em proteínas diferentes.

O Projeto Genoma Humano trouxe novas perguntas, e não todas as respostas, como era a expectativa da sociedade em geral na divulgação do início da pesquisa.

### “DNA lixo”?

Em 2003, época da publicação do sequenciamento completo do genoma humano, constatou-se que cada molécula de DNA de uma célula humana possui 95% de regiões que não correspondem a genes. Essa parte não codificadora do genoma foi inicialmente chamada de “DNA lixo”, por não ter função então conhecida no metabolismo celular.

As pesquisas em biologia molecular começaram, então, a elucidar a importância dessas sequências não codificadoras de DNA, o que fez cair em desuso o termo “DNA lixo”. Em 2012, foram publicados mais de 30 trabalhos em revistas científicas comprovando que mais de 80% do genoma humano têm alguma função bioquímica essencial para o controle das atividades da célula. Esses trabalhos fizeram parte do projeto *Enciclopédia de Elementos de DNA* – sua sigla, em inglês, é *Encode*, que significa codificar.

Pesquisadores do projeto *Encode* encontraram sequências reguladoras, que não determinam diretamente a síntese de proteínas, mas interagem de alguma forma com o funcionamento dos genes, no metabolismo regular de uma célula e também durante o desenvolvimento embrionário. Os pesquisadores comparam as sequências reguladoras com interruptores, capazes de ligar ou desligar um gene, ou ainda com um botão de volume, capaz de regular a intensidade com que determinados genes se expressam em determinadas células, sob certas condições.

As numerosas sequências reguladoras explicam como o ser humano possui tamanha diversidade de proteínas – e de variações em suas características – possuindo um número considerado pequeno de ge-

nes: aproximadamente 30 mil. Esse número é menor do que os genes do genoma do milho, por exemplo.

Os dados provenientes do estudo do genoma humano abrem novas frentes de pesquisa, principalmente aquelas relacionadas à área médica. Será possível, por exemplo, detectar regiões do DNA, fora dos genes já conhecidos, capazes de regular a expressão de uma doença genética.

Na época da publicação dos primeiros trabalhos do *Encode*, uma interessante comparação foi feita: se todas as sequências de nucleotídeos de DNA humano já identificadas fossem impressas numa escala de 1 000 pares de nucleotídeos por centímetro quadrado, o resultado seria uma tira de papel com 30 km de comprimento, ou uma pilha de papel com 16 m de altura!



Nicolas Loran/Getty Images

◀ A tela do computador mostra o resultado do **sequenciamento de uma amostra de DNA**.

Fontes:

ESCOBAR, H. Estudos revelam riqueza genética no “DNA lixo”. *O Estado de S. Paulo*. 6 set. 2012. Caderno Vida, A19. Disponível em: <<http://blogs.estadao.com.br/herton-escobar/dna-lixo-um-conceito-reciclado/>>.

PIVETTA, M. O efeito da tripla hélice. *Pesquisa Fapesp*, maio 2013. Disponível em: <<http://revistapesquisa.fapesp.br/2013/05/14/o-efeito-da-tripla-helice/>>.

Acessos em: 12 mar. 2016.



Uma animação interativa descrevendo todas as etapas da análise de DNA por eletroforese em gel está disponível do site *Learn Genetics* (Aprenda Genética), da Universidade de Utah, EUA. Apesar de os textos estarem em inglês, a animação pode ser facilmente compreendida. Disponível em: <<http://learn.genetics.utah.edu/content/labs/gel/>>. Acesso em: 12 mar. 2016.

## Os exames de DNA nos tribunais

A molécula de DNA pode sofrer mutações. Elas são mais toleradas quando acontecem em regiões não codificantes do DNA, trechos sem informação genética, que aparentemente constituem a maior parte do genoma. Muitas vezes, essas mutações tornam-se estáveis no genoma de um indivíduo, podendo ser transmitidas aos descendentes se estiverem presentes nos gametas.

Como é muito grande a variação no número e no tipo dessas mutações estáveis no DNA, é possível identificar uma pessoa com base no seu padrão de diferenças devido a mutações. Essas variações são chamadas de **polimorfismos genéticos**.

Enzimas de restrição “cortam” o DNA apenas onde existem certas sequências específicas de nucleotídeos, gerando fragmentos de um determinado tamanho.

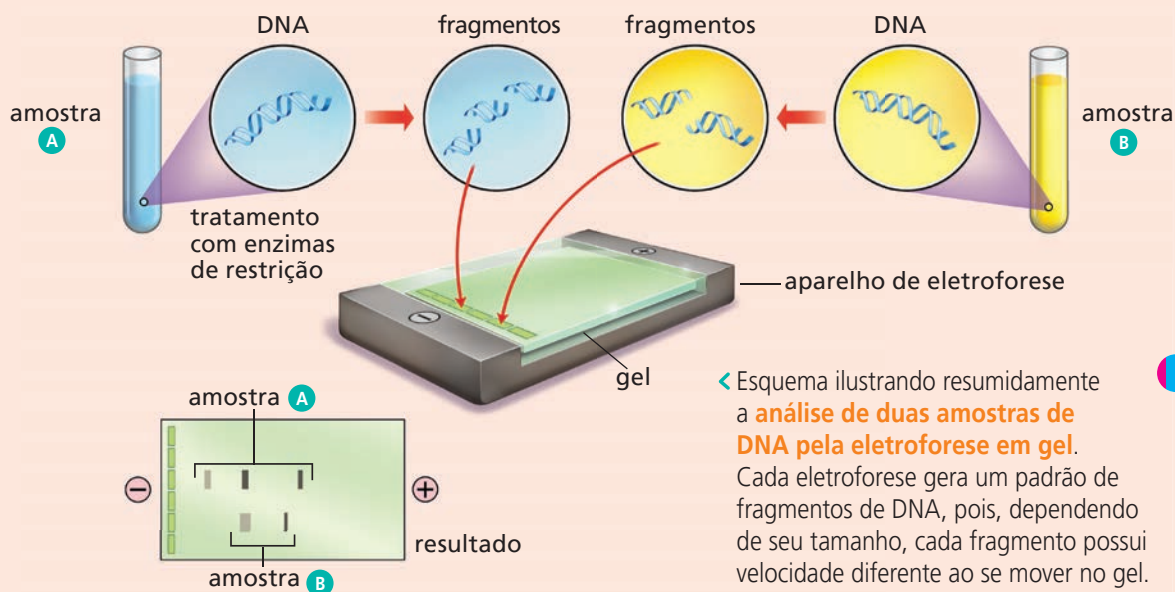
Uma mutação pode eliminar ou criar um novo local para atuação das enzimas de restrição. Com isso, os fragmentos gerados pelo corte do DNA, em laboratório, terão tamanho maior ou menor, e poderão ser separados por eletroforese. Nessa técnica,

uma corrente elétrica provoca a migração dos fragmentos de DNA em um gel e, nessa migração, os fragmentos maiores são mais lentos que os menores.

A posição dos fragmentos no gel pode ser reconhecida pela aplicação de uma sonda: substância radioativa ou que emite luz sob certas condições. Com o uso de um filme fotográfico, descobre-se a posição da sonda (que brilha) e, portanto, dos fragmentos de DNA.

Cada pessoa apresenta um padrão único de fragmentos para certas regiões de seu DNA, como você pode observar no esquema (amostras A e B); é como se o DNA fosse uma “impressão digital” da pessoa. Amostras de sangue, saliva, sêmen, cabelo e unha podem conter pequenas quantidades de DNA que, amplificadas, podem ser analisadas pela técnica citada. Assim, comparando-se o DNA de duas pessoas podem-se descobrir relações de paternidade; comparando-se o DNA encontrado no local de um crime com o DNA de um suspeito pode-se verificar se a acusação é verdadeira.

Fonte: RUMJANEK, F. D.; RINZLER, C. M. C. Os exames de DNA nos tribunais. *Ciência Hoje*. SBPC, v. 29, n. 169, mar. 2001, p. 24-30.



As figuras estão representadas em diferentes escalas.

Oswaldo Sequeitri/Arquivo da editora

< Esquema ilustrando resumidamente a **análise de duas amostras de DNA pela eletroforese em gel**. Cada eletroforese gera um padrão de fragmentos de DNA, pois, dependendo de seu tamanho, cada fragmento possui velocidade diferente ao se mover no gel.

## DEPOIS DA LEITURA...

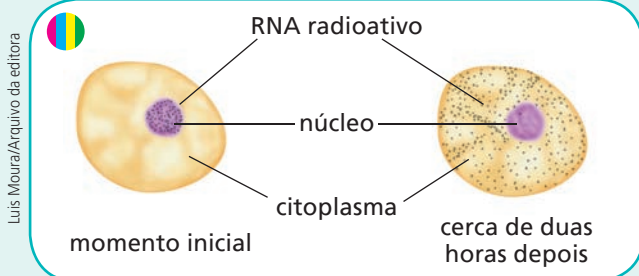
Selecione uma reportagem de jornal, revista ou internet sobre um caso judicial que tenha sido resolvido com o emprego de análise de DNA. Em seu caderno, explique a técnica de engenharia genética citada na reportagem.

Resposta pessoal.

## Revedo e aplicando conceitos

1. O RNA é produzido no núcleo da célula e de lá migra para o citoplasma, onde participa da síntese proteica.

- Como resultado de um experimento, realizado em laboratório, com uma cultura de células foram obtidas as imagens seguintes. As células foram tratadas com uma sonda radiativa que se liga a moléculas de RNA.



Analisando as figuras, que representam células retiradas da cultura em dois momentos, explique por que houve migração de RNA do núcleo para o citoplasma, nas células em estudo.

- Considere a seguinte sequência de nucleotídeos de DNA:

CTACGCTAGGCGATT

- Qual é a cadeia complementar que forma a dupla-hélice do DNA?  
2. a) GATGCGATCCGCTAA.
- Qual será a sequência de nucleotídeos de RNA mensageiro formado a partir dessa cadeia de DNA?  
2. b) GAUGCGAUCGCUAA.
- Observando a tabela de código genético universal da página 206, qual será a sequência de aminoácidos codificada por esse RNAm? Observação: nessa sequência, não está representado o códon de iniciação.  
2. c) Aspartato – Alanina – Isoleucina – Arginina.

- Represente as etapas de transcrição e tradução, anotando as sequências de RNA, os anticódons de RNAt e a cadeia de aminoácidos formada pelas sequências de nucleotídeos de DNA 1 e 2.

- Sequência 1:  
TACTCCCCCTACTTC  
3. Consulte o Manual.
- Sequência 2:  
TACTCGCCCACTTC

Para montar a sequência de aminoácidos da proteína, utilize os símbolos da tabela de código genético fornecidos ao lado.

TABELA DE CÓDIGO GENÉTICO	
Códons de RNAm	"Aminoácidos"
AGG	△
AGC	△
GGG	□
AAG	○
AUG	■
UGA	PARADA

5. Os aminoácidos devem estar disponíveis no citoplasma, para a síntese proteica. Veja comentários no Manual.

- Compare as sequências de bases 1 e 2, do exercício 3. Identifique duas mutações que a sequência de DNA 2 apresenta em relação à sequência 1 e explique as consequências de cada uma das mutações na proteína formada. 4. Consulte o Manual.
- Dos vinte tipos de aminoácidos, o organismo não é capaz de produzir nove tipos. Esses são chamados aminoácidos essenciais, que devem ser obtidos pela alimentação, pois são necessários à síntese de diversas proteínas. Pensando no processo de síntese proteica, explique qual poderia ser a consequência da falta de aminoácidos essenciais na alimentação.
- Em 25 de abril de 1953, os cientistas James Watson e Francis Crick publicaram um breve artigo, de apenas duas páginas, na revista científica *Nature*, elucidando a estrutura química da molécula de DNA. Para elaborar o modelo, eles analisaram dados acumulados até a ocasião, provenientes de pesquisas realizadas por outros cientistas. Eles também avaliaram modelos propostos anteriormente, apontando suas falhas e justificando o modelo em dupla-hélice, proposto por eles. Tal artigo é considerado um marco histórico na Biologia.

Veja a seguir, alguns trechos do artigo original, em inglês:

### MOLECULAR STRUCTURE OF NUCLEIC ACIDS

#### A Structure for Deoxyribose Nucleic Acid

We wish to suggest a structure for the salt of deoxyribose nucleic acid (D.N.A.). This structure has novel features which are of considerable biological interest.

[...] We wish to put forward a radically different structure for the salt of deoxyribose nucleic acid. This structure has two helical chains each coiled round the same axis (see diagram). [...]

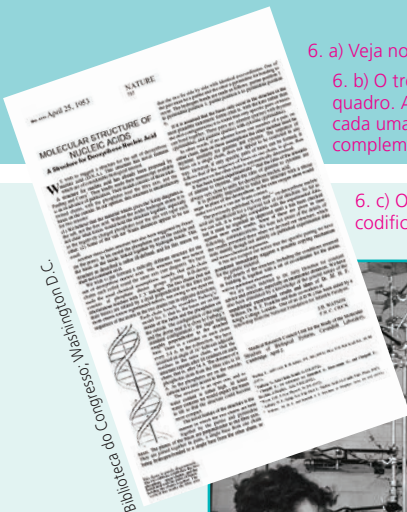
The novel feature of the structure is the manner in which the two chains are held together by the purine and pyrimidine bases. [...] One of the pair must be a purine and the other a pyrimidine for bonding to occur. [...]

These pairs are: adenine (purine) with thymine (pyrimidine), and guanine (purine) with cytosine (pyrimidine).

[...] It has not escaped our notice that the specific pairing we have postulated immediately suggests a possible copying mechanism for the genetic material.

Artigo original disponível em: <<http://www.nature.com/nature/dna50/watsoncrick.pdf>>. Acesso em: 24 fev. 2016.





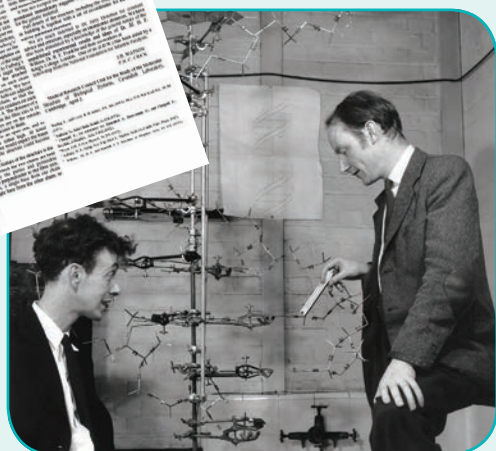
6. a) Veja no Manual tradução livre dos trechos citados.

6. b) O trecho corresponde ao último parágrafo do quadro. As duas fitas da dupla-hélice se separam e cada uma serve de cadeia-molde para uma nova fita complementar. A duplicação é semiconservativa.

6. c) O DNA contém a informação genética que codifica as características de um organismo.

6. d) Sim, pois a estrutura molecular do DNA proposta por Watson e Crick é válida e usada como base para os estudos com material genético.

6. e) Compartilhar os resultados de pesquisas é fundamental para o avanço do conhecimento científico. Outros cientistas podem criticar ou complementar os estudos publicados.



A. Barrington Brown/SPL/Latinstock

James Watson (à esq.) e Francis Crick, em foto de 1953, ano da publicação do artigo sobre a estrutura do DNA.

Você e um colega podem juntos responder às seguintes questões:

- Utilizando seus conhecimentos da língua inglesa, tente descobrir o significado de um dos parágrafos do artigo transcritos anteriormente. Consulte um dicionário Português-Inglês para auxiliá-lo.
  - Watson e Crick afirmaram, no artigo: "Não nos passou despercebido que o pareamento específico que postulamos sugere de imediato um possível mecanismo de cópia para o material genético". Identifique esse trecho no original em inglês e explique qual é a relação entre a estrutura molecular do DNA e sua duplicação.
  - Considere agora o trecho: "Esta estrutura tem características originais que são de considerável interesse biológico". Qual é a relação entre a estrutura da molécula de DNA e a compreensão da hereditariedade?
  - A frase do artigo mencionada no item anterior poderia estar em um trabalho sobre engenharia genética? Justifique sua opinião.
  - Por que pesquisadores publicam seus estudos em revistas científicas?
7. Na década de 1960, cientistas decifraram o mecanismo que permitiu compreender a síntese de proteínas: o código genético. Esse código é um sistema de três bases nitrogenadas em sequência, formando um códon, que corresponde a um aminoácido na proteína a ser produzida.
- Por que os códons são formados por três, e não por duas bases? 7. a) Se os códons fossem formados por 2 bases, teríamos apenas 16 combinações possíveis.
  - Se existem 20 aminoácidos e 64 códons diferentes, o que podemos concluir a respeito da relação entre códon e aminoácido?

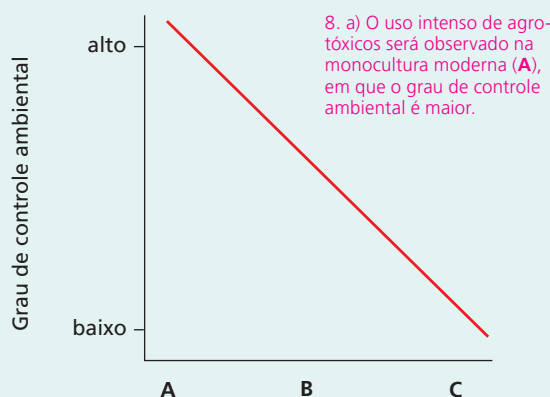
7. b) Pode-se concluir que um aminoácido pode ser codificado por mais de um códon.

## Trabalhando com gráficos

8. Diversas atividades humanas contribuem, direta ou indiretamente, para o aumento na concentração de substâncias mutagênicas no ambiente. Os agrotóxicos constituem exemplo de substâncias que, além de sintomas agudos de intoxicação – dor de cabeça, vômitos, entre outros –, podem, em muitos casos, causar mutações no material genético.

Observe o gráfico abaixo, que relaciona o grau de controle ambiental em três sistemas de produção agrícola: a monocultura moderna (A), a produção orgânica (B) e a produção tradicional ou lavouras de subsistência (C):

Controle ambiental em três tipos de cultura



Fonte: A dinâmica dos agrotóxicos no meio ambiente, artigo de Osmar Pires Martins Júnior, engenheiro agrônomo e biólogo – disponível na página do Ministério Público do Estado de Goiás: <www.mp.go.gov.br>. Acesso em: 24 fev. 2016.

- Em qual dos sistemas – A, B ou C – espera-se observar maior uso de agrotóxicos?
  - O que são mutações gênicas?
8. b) Mutações gênicas são alterações na sequência de nucleotídeos do DNA.
- Cite uma consequência da ocorrência de mutação gênica provocada por um agente mutagênico como o agrotóxico. 8. c) As mutações podem ser substituições, adições ou retirada de nucleotídeos. Veja mais comentários no Manual.
  - De que forma o governo e a sociedade (os consumidores) podem influenciar na questão de liberação de agentes mutagênicos no ambiente?
8. d) Resposta pessoal. Veja comentários no Manual.

## Ciência, Tecnologia e Sociedade

9. Em 2004, pesquisadores brasileiros anunciaram o desenvolvimento de uma variedade de algodão transgênico no qual foi inserido o gene de determinada bactéria. Quando a planta de algodão expressa esse gene, produz uma substância que é tóxica para um inseto que destrói essas plantações. O cultivo dessa variedade de

9. a) Aqueles que apresentam modificações no material genético induzidas por técnicas de manipulação gênica, como inserção de genes, por exemplo.

algodão resistente à principal praga reduziria as perdas na colheita. Os primeiros estudos já concluíram que a substância não é tóxica para outros animais, como mamíferos. Esta pesquisa foi realizada pela Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias – Embrapa.



▲ Plantação de algodão geneticamente modificado para resistência a pragas.

Veja mais informações em: <<http://www.cnpma.embrapa.br/projetos/index.php?sec=bioss::23>>. Acesso em: 12 mar. 2016.

- a. Explique o que são organismos geneticamente modificados.
- b. O enunciado informa a respeito das vantagens associadas ao plantio de variedades transgênicas. Entretanto, o desenvolvimento de plantas transgênicas não é assunto isento de polêmica. Alguns especialistas alertam para o aspecto da segurança ambiental: o pólen de plantas geneticamente modificadas poderia alterar a descendência das variedades naturais, sendo necessário desenvolver plantas que, além de expressar as características de interesse, sejam estéreis ou incapazes de realizar fecundação cruzada. Outras pessoas desejam que a informação sobre o uso de plantas transgênicas venha destacada no rótulo de alimentos industrializados, entre outras questões. Busque mais informações a respeito das polêmicas envolvendo os organismos geneticamente modificados (não se esqueça de citar as fontes consultadas). Organize as informações coletadas em categorias – por exemplo: questões ambientais, questões relativas ao consumidor, questões relativas ao produtor, questões éticas. Converse com seus colegas, trocando informações com eles.

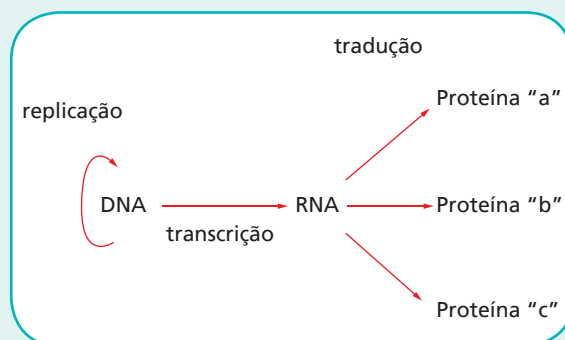
9. b) Resposta pessoal. Veja comentários no Manual.

- c. Escolha uma outra técnica de engenharia genética e explique os objetivos, com suas próprias palavras. Escreva também se existem questões éticas envolvidas nessa técnica e quais são elas.

9. c) Resposta pessoal. Veja comentários no Manual.

## Questões do Enem e de vestibulares

10. (Enem-2012) O milho transgênico é produzido a partir da manipulação do milho original, com a transferência, para este, de um gene de interesse retirado de outro organismo de espécie diferente. A característica de interesse será manifestada em decorrência
- do incremento do DNA a partir da duplicação do gene transferido.
  - da transcrição do RNA transportador a partir do gene transferido.
  - da expressão de proteínas sintetizadas a partir do DNA não hibridado.
  - da síntese de carboidratos a partir da ativação do DNA do milho original.
  - da tradução do RNA mensageiro sintetizado a partir do DNA recombinante. 10. e
11. (Enem-2009) A figura seguinte representa um modelo de transmissão da informação genética nos sistemas biológicos. No fim do processo, que inclui a replicação, a transcrição e a tradução, há três formas proteicas diferentes denominadas a, b e c.



Depreende-se do modelo que:

- a única molécula que participa da produção de proteínas é o DNA.
- o fluxo de informação genética, nos sistemas biológicos, é unidirecional.
- as fontes de informação ativas durante o processo de transcrição são as proteínas.
- é possível obter diferentes variantes proteicas a partir de um mesmo produto de transcrição. 11. d
- a molécula de DNA possui forma circular e as demais moléculas possuem forma de fita simples linearizadas.

- 12.** (Enem-2008) Define-se genoma como o conjunto de todo o material genético de uma espécie, que, na maioria dos casos, são as moléculas de DNA. Durante muito tempo, especulou-se sobre a possível relação entre o tamanho do genoma – medido pelo número de pares de bases (pb) –, o número de proteínas produzidas e a complexidade do organismo. As primeiras respostas começam a aparecer e já deixam claro que essa relação não existe, como mostra a tabela abaixo.

Espécie	Nome comum	Tamanho estimado do genoma (pb)	Nº de proteínas descritas
<i>Cryza sativa</i>	arroz	5 000 000 000	224 181
<i>Mus musculus</i>	camundongo	3 454 200 000	249 061
<i>Homo sapiens</i>	homem	3 400 000 000	459 114
<i>Rattus norvegicus</i>	rato	2 900 000 000	109 077
<i>Drosophila melanogaster</i>	mosca-das-frutas	180 000 000	86 255

De acordo com as informações acima:

- a.** o conjunto de genes de um organismo define o seu DNA.
- b.** a produção de proteínas não está vinculada à molécula de DNA.
- c.** o tamanho do genoma não é diretamente proporcional ao número de proteínas produzidas pelo organismo. **12. c**
- d.** quanto mais complexo o organismo, maior o tamanho de seu genoma.
- e.** genomas com mais de um bilhão de pares de bases são encontrados apenas nos seres vertebrados.
- 13.** (UFG-GO) O exame de paternidade através da comparação de DNA sequenciado vem sendo utilizado para determinar progenitores. É possível determinar o pai de um recém-nascido quando a dúvida sobre a paternidade desse recém-nascido está entre gêmeos univitelinos? Justifique sua resposta.

**13.** Não é possível, pois o patrimônio genético de gêmeos univitelinos é idêntico.

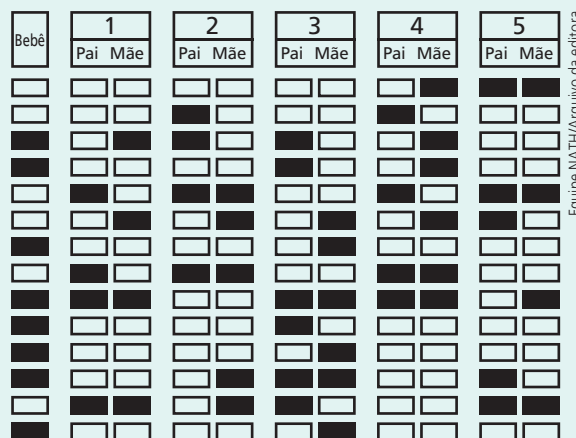
**14. a)** Nula. O DNA mitocondrial é herança materna, pois as mitocôndrias do espermatozoide não penetram o óvulo na fecundação.

**14. b)** Sim, pois Dolly foi clonada a partir do núcleo de uma célula somática (2n) da ovelha doadora.

- 14.** (Unifesp) Louise Brown nasceu em julho de 1978, em Londres, e foi o primeiro bebê de proveta, por fecundação artificial *in vitro*. A ovelha Dolly nasceu em 5 de julho de 1996, na Escócia, e foi o primeiro mamífero clonado a partir do núcleo da célula de uma ovelha doadora.

- a.** Qual a probabilidade de Louise ter o genoma mitocondrial do pai? Explique.
- b.** O genoma nuclear do pai da ovelha doadora fará parte do genoma nuclear de Dolly? Explique.

- 15.** (Enem-2013) Cinco casais alegavam ser os pais de um bebê. A confirmação da paternidade foi obtida pelo exame de DNA. O resultado do teste está esquematizado na figura, em que cada casal apresenta um padrão com duas bandas de DNA (faixas, uma para o suposto pai e outra para a suposta mãe), comparadas à do bebê.



Equipe NATH/Arquivo da editora

Que casal pode ser considerado como pais biológicos do bebê?

- a.** 1                      **c.** 3    **15. c**                      **e.** 5
- b.** 2                      **d.** 4

- 16.** (Enem-2015) A reprodução vegetativa de plantas por meio de estacas é um processo natural. O homem, observando esse processo, desenvolveu uma técnica para propagar plantas em escala comercial. A base genética dessa técnica é semelhante àquela presente no(a)

- a.** transgenia.
- b.** clonagem. **16. b**
- c.** hibridização.
- d.** controle biológico.
- e.** melhoramento genético.



# Evolução

UNIDADE

3

! OBJETIVOS  
GERAIS DA  
UNIDADE

! ABERTURA  
DA UNIDADE

DIVULGAÇÃO PNLD

Christian Handl/Getty Images

**Ao longo desta unidade, abordaremos questões relativas ao processo de evolução biológica, tais como:**

- ⟨ O que possibilita o estudo da evolução?
- ⟨ Por que os fósseis são importantes nos estudos evolutivos?
- ⟨ Qual o significado da palavra “adaptação” em Biologia?
- ⟨ O que é seleção natural?
- ⟨ Como surgem novas espécies?
- ⟨ Evolução e genética: qual é a relação entre esses conhecimentos?

No século XIX, o naturalista Charles Darwin, ao visitar o arquipélago de Galápagos, observou diversas espécies de tentilhões, inclusive a da foto, que se alimenta de cactos. Esse tentilhão mede cerca de 12 cm de comprimento.

# Evolução: conceito e evidências

## 1 Introdução

COMENTÁRIOS  
GERAIS

REFLEXÕES  
SOBRE O ENSINO  
DE BIOLOGIA

✓ A onça-pintada, o tigre, o leão, o gato doméstico, o lince e a jaguatirica são **felinos**. O parentesco evolutivo próximo entre eles explica as semelhanças na morfologia, no comportamento e no DNA.

DIVULGAÇÃO PNLD



gato doméstico



leão



jaguaririca



onça-pintada



tigre



lince

O número de espécies de seres vivos, distribuídas pelas regiões do planeta, é muito grande. São animais, plantas, fungos, protistas e moneras habitando os mais diversos ecossistemas. Além das espécies atuais, muitas outras existiram no passado e hoje não possuem nenhum representante na biodiversidade.

A quantidade de espécies variou e continua a variar no decorrer do tempo na Terra. Espécies foram extintas, outras surgiram, em processos que definem a vida e ocorrem continuamente. Os seres vivos evoluem e, desde o início do século XX, esta ideia é central na Biologia.

Entender a diversidade de seres vivos sempre foi um desafio para os cientistas. Como essa diversidade surgiu, se estabeleceu e se modificou ao longo do tempo?

Muitas ideias foram propostas para explicar esses processos, sendo atualmente aceitas aquelas que procuram estabelecer o parentesco evolutivo entre grupos ou a história evolutiva dos seres vivos. Isso porque existem fortes evidências que corroboram o **processo evolutivo**, ou seja, evidências de que ocorrem modificações nos organismos ao longo do tempo, podendo levar ao surgimento de novas espécies e à extinção de outras. As espécies não são imutáveis, como se pensava antigamente.

Vamos analisar, neste capítulo, algumas das evidências científicas que sustentam a ideia de evolução biológica.

Os animais estão representados em diferentes escalas.



## 2 Evidências da evolução: descobrindo relações de parentesco

Estudar relações evolutivas entre organismos não é tarefa fácil. Os cientistas elaboram hipóteses baseando-se no maior número de evidências possível. A observação de apenas um ou poucos aspectos pode levar a conclusões errôneas sobre o parentesco evolutivo e consequentemente sobre a classificação dos organismos estudados. A classificação dos seres vivos baseia-se nas relações de **parentesco evolutivo** entre eles e não corresponde à simples tarefa de organizá-los em categorias.

Observe, como exemplo, as fotografias ao lado, de uma cobra-de-duas-cabeças (ou anfisbena) e de uma cecília.

Os dois animais são tão parecidos que em diversas regiões do Brasil são conhecidos pelo mesmo nome popular: “cobra-cega”. Ambos possuem corpo cilíndrico e curto, com cabeça arredondada e olhos pequenos. No caso das cecílias, os olhos são recobertos por pele ou por osso, dependendo da espécie. Anfisbenas e cecílias apresentam dobras na superfície do corpo, lembrando o aspecto de uma minhoca. Por todas essas semelhanças na morfologia externa, você poderia pensar que os dois animais possuem parentesco evolutivo bastante próximo.

A análise de outras características, no entanto, mostra claramente que cecílias e anfisbenas não possuem um ancestral comum exclusivo – elas pertencem a grupos distintos. A cecília é um anfíbio e seus “parentes” mais próximos, entre os grupos atuais, são os anuros (sapos, rãs e pererecas) e as salamandras. A anfisbena pertence a um grupo de répteis chamado Squamata, ao qual também pertencem os lagartos e as serpentes.

As características que cecílias e anfisbenas compartilham estão relacionadas ao hábito de vida comum: são animais escavadores, de vida subterrânea. A forma da cabeça ajuda na abertura de galerias no solo e a forma do corpo facilita a locomoção, diminuindo o atrito com as paredes do túnel. A visão não é muito desenvolvida, mas existem outros sentidos bem apurados, que permitem a esses animais a localização de presas e a orientação espacial no *habitat* subterrâneo. Outros animais de hábito escavador também possuem morfologia semelhante, como as serpentes escavadoras e algumas espécies de lagartos ápodes (*a* = sem; *podes* = pernas), conhecidos por cobras-de-vidro ou licranços.

Como você pode notar, a análise de apenas algumas características poderia levar a um agrupamento de organismos que não reflete adequadamente as relações de parentesco evolutivo.

O estudo da evolução se faz pela análise de diversos aspectos relacionados tanto a formas fósseis quanto atuais. Quanto maior o número de características estudadas, mais segurança o cientista terá para compreender a história evolutiva de um grupo. Assim, podemos destacar alguns itens que servem de base para o estudo do parentesco evolutivo entre seres vivos: o estudo dos fósseis, a comparação entre formas vivas atuais, a análise de órgãos vestigiais e a análise comparativa de moléculas.

É importante, neste momento, destacar aos alunos a diferença entre o significado de evolução em Biologia e no dia a dia. Veja comentários no Manual.



Animals Animals/Grupo Keystone

^ **Cobra-de-duas-cabeças** ou **anfisbena** (mede cerca de 25 cm de comprimento).



Dante Fenolio/Photoresarchers/Latinstock

^ **Cecília** (mede cerca de 20 cm de comprimento).



Giuseppe Puorto/Acervo do fotógrafo

^ **Cobra-de-vidro** (mede cerca de 20 cm de comprimento).



### RECORDE-SE

#### Evolução

Conjunto de processos que levam a modificações nos seres vivos ao longo do tempo, podendo dar origem a novas espécies.



Photodisc/Arquivo da editora



^ A **impressão de folhas** na rocha é um exemplo de fóssil.

Gerson Gerloff/Pulsar Imagens



^ **Xilopala** com cerca de 200 milhões de anos. Há destes fósseis no Brasil, principalmente no estado do Rio Grande do Sul, nas regiões de Santa Maria, São Pedro do Sul e Mata, sendo esta última o local da fotografia.

> **Inseto fossilizado em âmbar**, uma resina vegetal fóssil.



Fábio Colombini/Arquivo do fotógrafo

> **Carcaça fossilizada de um filhote de mamute**, encontrada na Sibéria em 2007. A idade do mamute foi estimada em cerca de 10 mil anos e seu ótimo estado de preservação se deve ao congelamento no solo da Sibéria.

## 2.1 Fósseis

**SUGESTÃO DE ATIVIDADE**

Os seres vivos podem deixar vestígios de sua existência, sob determinadas condições. Esses vestígios podem ser encontrados depois que eles morrem. Quando são vestígios da existência de seres extintos, recebem o nome de **fósseis**.

A fotografia 1 mostra partes de uma planta desenhada na rocha, que se comprovou tratar-se de uma planta não mais existente. Certamente, folhas caíram sobre a rocha e foram decompostas, mas ali ficou a sua marca. Trata-se, portanto, de um fóssil.

Os fósseis são geralmente encontrados em arenitos, uma das rochas sedimentares mais comuns. Rochas sedimentares são formadas pelo acúmulo de sedimentos, ou seja, partículas depositadas que, ao longo do tempo, geram camadas de rocha, devido às condições de pressão e temperatura.

Um tipo de fossilização é a **substituição** ou **petrificação**: à medida que a matéria orgânica do indivíduo que morreu é decomposta, é substituída aos poucos por minerais, dentre os quais o mais comum é o quartzo, o mesmo mineral que forma a areia.

A foto 2 mostra uma madeira petrificada, fóssil conhecido por **xilopala**, em que se pode observar toda a estrutura do tronco, cuja matéria orgânica foi substituída por sílica (quartzo).

Estruturas rígidas, como conchas de moluscos e ossos de vertebrados, são mais comuns no registro fóssil. No entanto, há outros tipos de fósseis, como as pegadas e as fezes mineralizadas.

Embora mais raros, existem fósseis inteiramente preservados, como mamutes descobertos congelados na Sibéria 4 e alguns casos de pequenos invertebrados, especialmente insetos e aracnídeos, encontrados presos dentro do âmbar (foto 3), uma resina fóssil secretada por pinheiros extintos há milhões de anos.

Os fósseis são normalmente comparados com seres vivos atuais com os quais apresentem semelhanças. Tal comparação auxilia na reconstituição de seres extintos e também fornecem dados para o estudo das relações de parentesco evolutivo.



AP Photo/NTV; Russian Television Channel/Glow Images

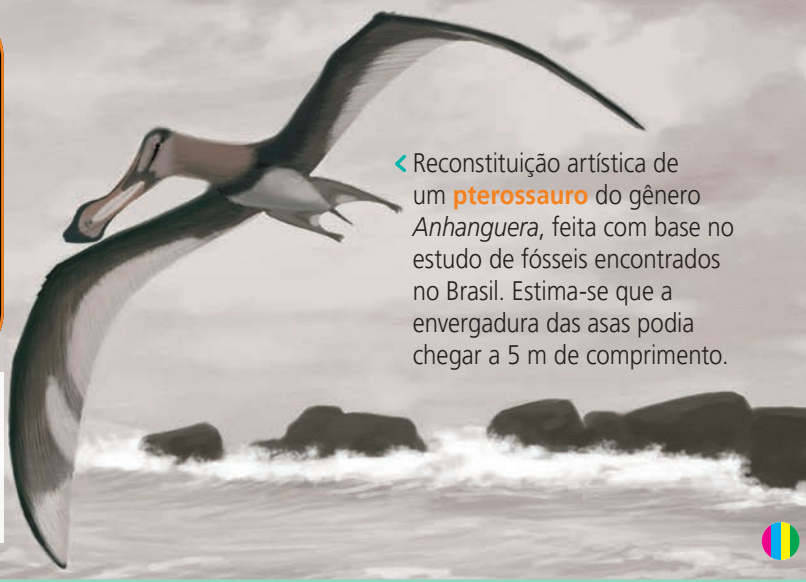
## Pterossauros no Brasil

No território que hoje chamamos Brasil viveram muitas espécies de animais e plantas hoje conhecidas por meio dos fósseis. Até 2015, foram descritos em nosso país 42 sítios paleontológicos, locais onde há vestígios de seres extintos. Um dos mais estudados fica em uma grande bacia sedimentar na Chapada do Araripe, Ceará. Ali foram encontrados fósseis de peixes, moluscos e dos pterossauros, grandes répteis voadores extintos. Os gêneros aqui encontrados viveram até cerca de 100 milhões de anos atrás. Entre eles, vamos citar o gênero *Anhanguera*, termo derivado do tupi que significa “diabo velho”. O crânio desses animais possui duas cristas e grandes dentes nas extremidades das mandíbulas, provavelmente usados para coletar peixes da grande laguna que havia na região. Todo esse cenário pode ser imaginado pela análise das rochas e dos esqueletos fósseis.

Fonte: WILHELM, A.; KELLNER, A. Pterossauros, os primeiros vertebrados voadores. *Ciência Hoje*, v. 30, ed. 178, dez. 2001, p. 26-31.



^ Parte do crânio fóssil do pterossauro *Anhanguera santanae*, espécie que existiu há cerca de 110 milhões de anos, na região onde hoje é a Chapada do Araripe, nos estados do Ceará e do Piauí.



< Reconstituição artística de um pterossauro do gênero *Anhanguera*, feita com base no estudo de fósseis encontrados no Brasil. Estima-se que a envergadura das asas podia chegar a 5 m de comprimento.

Fotos: John Conway/SPL/Latinstock

## 2.2 Comparação anatômica entre seres vivos atuais

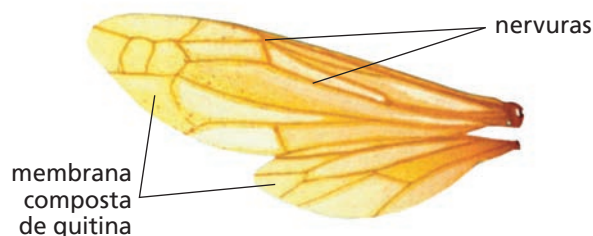
Existem diversos casos em que organismos de espécies diferentes possuem estruturas que exercem funções semelhantes, mas não são derivadas de uma mesma condição ancestral. Já vimos um exemplo entre animais: a morfologia externa das cecílias, que são anfíbios, e de répteis escavadores como as anfisbenas.

As asas dos insetos e as asas das aves constituem outro exemplo desse caso: elas exercem a mesma função (voo), mas não derivam de estruturas primitivas de um ancestral comum exclusivo entre insetos e aves. Os insetos surgiram cerca de 100 milhões de anos antes do grupo das aves e o parentesco evolutivo entre eles não é muito próximo. Este é um caso de **analogia**. As estruturas semelhantes quanto à função, mas sem relação de ancestralidade, são chamadas análogas.

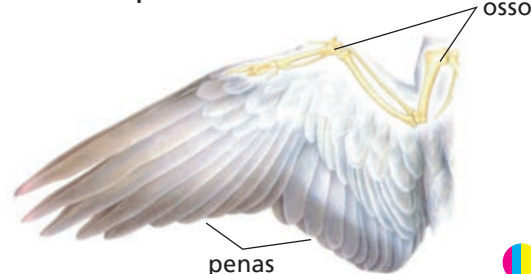
A presença de estruturas análogas em diferentes grupos reflete o processo de **convergência evolutiva**, que comentaremos com detalhes mais adiante.

### Exemplos de estruturas análogas

#### Esquema da asa de inseto



#### Esquema da asa de ave



Paulo Cesar Pereira/Arquivo da editora

As figuras estão representadas em diferentes escalas.





## RECORDE-SE

**Analogia**

Semelhança de função, sem relação de ancestralidade.

**Homologia**

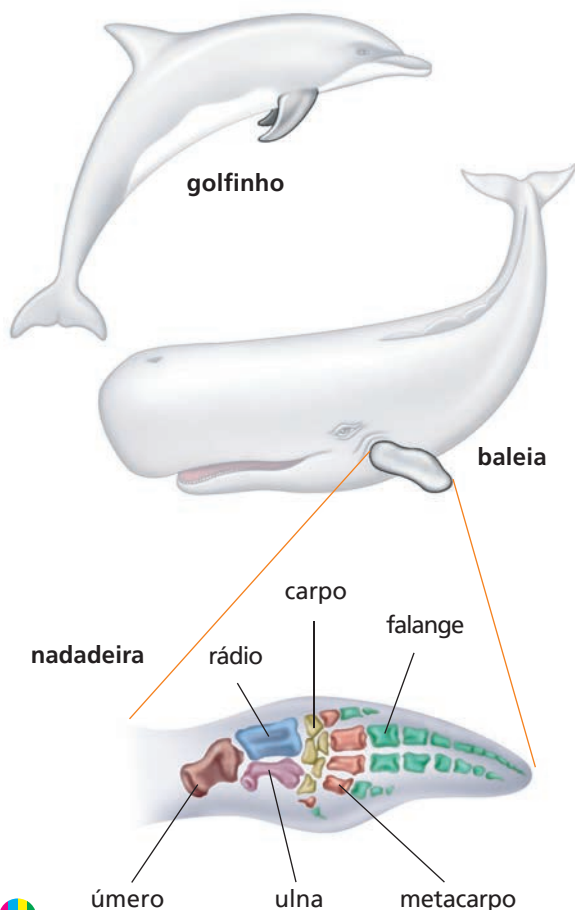
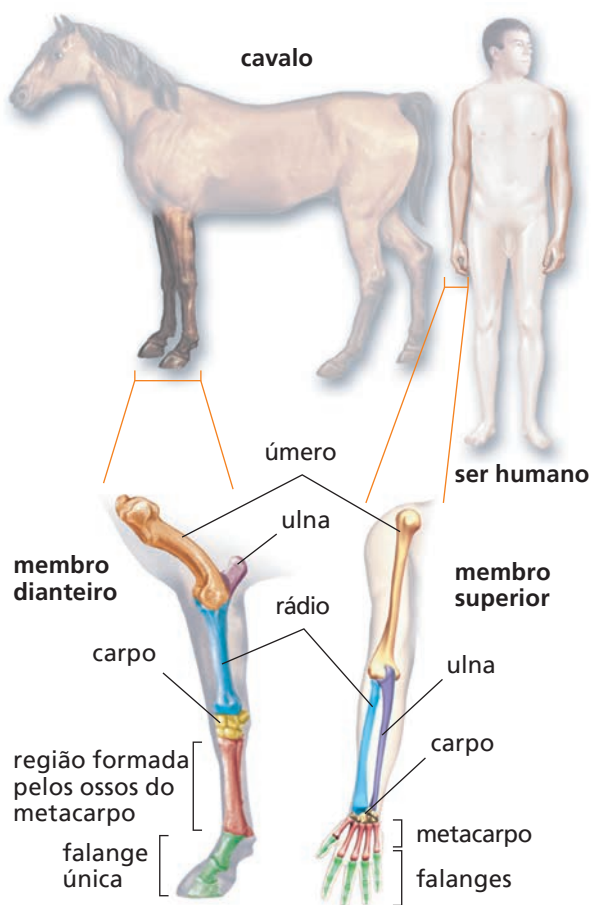
Relação de ancestralidade, com ou sem igualdade de função.

Enquanto estruturas análogas não refletem grau de parentesco evolutivo por não derivarem de uma condição ancestral comum exclusiva, as estruturas homólogas são fundamentais nesse tipo de estudo.

A **homologia** é observada entre estruturas presentes em dois ou mais grupos quando essas derivam de uma condição primitiva presente no ancestral comum exclusivo. Estruturas homólogas podem ter formas e funções semelhantes ou diferentes.

Vamos considerar as nadadeiras dos golfinhos e as nadadeiras das baleias, ambos mamíferos aquáticos: essas nadadeiras são estruturas que realizam a mesma função (nado), e são homólogas, pois ambas derivam de um mesmo caráter primitivo que estava presente no grupo ancestral de mamíferos que deu origem aos cetáceos – golfinhos e baleias. Veja ilustração abaixo, à esquerda.

Observe também o esquema abaixo, à direita, de uma perna dianteira de cavalo e do membro superior de um ser humano, com a indicação dos ossos que os constituem. Os membros anteriores de cavalos e de seres humanos são homólogos, mas nesse caso não exercem a mesma função.

**Estruturas homólogas em golfinho e baleia**

**Estruturas homólogas em cavalo e ser humano**


Ilustrações: Paulo César Pereira/Arquivo da editora

As figuras estão representadas em diferentes escalas.

E quanto aos membros anteriores de morcegos, modificados em asas? As asas dos morcegos são análogas às asas de aves e de insetos, e são homólogas, mas não análogas, aos membros anteriores de outros mamíferos, como o cavalo e o ser humano.



## 2.3 Órgãos vestigiais

Em determinados animais, alguns órgãos são bem desenvolvidos e funcionais; em outros, os mesmos órgãos são reduzidos e não têm função ou têm função mínima. São os chamados **órgãos vestigiais**, que indicam relação de ancestralidade entre os dois grupos considerados. Possuem, assim, importância para o estudo da evolução no reino animal.

No coelho e outros herbívoros, por exemplo, a porção inicial do intestino grosso, o ceco, é bem desenvolvida e dele parte uma porção, também desenvolvida, chamada apêndice cecal, ou apêndice vermiforme. Já em outros mamíferos, como o ser humano, o ceco é bem reduzido e o apêndice é atrofiado. O apêndice vermiforme pode até ser retirado cirurgicamente em caso de inflamação (apendicite) sem trazer qualquer prejuízo às funções do intestino humano. Compare o ceco e o apêndice do coelho e do ser humano nos esquemas abaixo.

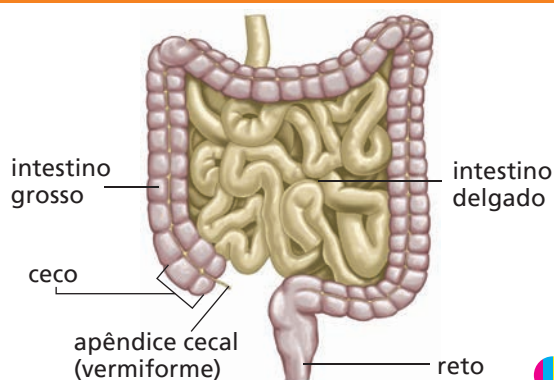
Órgãos vestigiais como o apêndice, por indicarem ancestralidade comum, são muito importantes para o estabelecimento das relações evolutivas entre as espécies consideradas.

### Parte do sistema digestório do coelho



Oswaldo Sequeirin/Arquivo da editora

### Intestino do ser humano



Luís Moura/Arquivo da editora

## 2.4 Comparação entre moléculas

Atualmente, com o desenvolvimento das técnicas de bioquímica e engenharia genética, é possível comparar moléculas de organismos distintos e detectar padrões de semelhanças e diferenças entre elas. A análise de proteínas comuns em diversos vertebrados, por exemplo, pode indicar o grau de parentesco evolutivo entre eles. O conceito de homologia é aplicado também a moléculas, como proteínas e ácidos nucleicos (comparação de sequências de nucleotídeos).

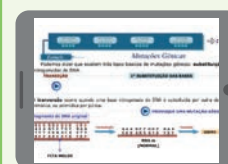
A hemoglobina, uma proteína envolvida no transporte de gases respiratórios, é uma molécula que ocorre em todos os vertebrados, com a mesma função. A estrutura, no entanto, não é idêntica. A sequência de aminoácidos é bastante parecida em todos eles, com algumas diferenças. Quanto maior for a semelhança na sequência de aminoácidos da hemoglobina de dois grupos distintos, mais próximo é o parentesco evolutivo.

Como você já sabe, as proteínas têm sua produção determinada por genes, que são sequências de nucleotídeos do DNA, o material genético. Isso significa que diferenças na sequência de aminoácidos de uma proteína estão relacionadas a diferenças genéticas. Assim, a análise de genes também permite detectar o grau de semelhança entre indivíduos. Quanto menor o número de diferenças entre as sequências de nucleotídeos de um gene existente no genoma de duas espécies, maior o grau de parentesco evolutivo entre elas.



MULTIMÍDIA

### Mutações



Reprodução

< <http://www.planetabio.com/mutacao.html> >

Com animações interativas, recorde-se dos tipos de mutação no material genético e suas consequências.

Acesso em: 12 abr. 2016.



## RECORDE-SE

## Táxon

Um grupo taxonômico, ou seja, agrupado em uma categoria de classificação biológica. A família dos felinos é um táxon, assim como uma espécie, a da onça-pintada, por exemplo (*Panthera onca*).

- Cladograma simplificado mostrando **relações de parentesco evolutivo** entre as espécies fictícias A, B e C.



## PENSE E RESPONDA

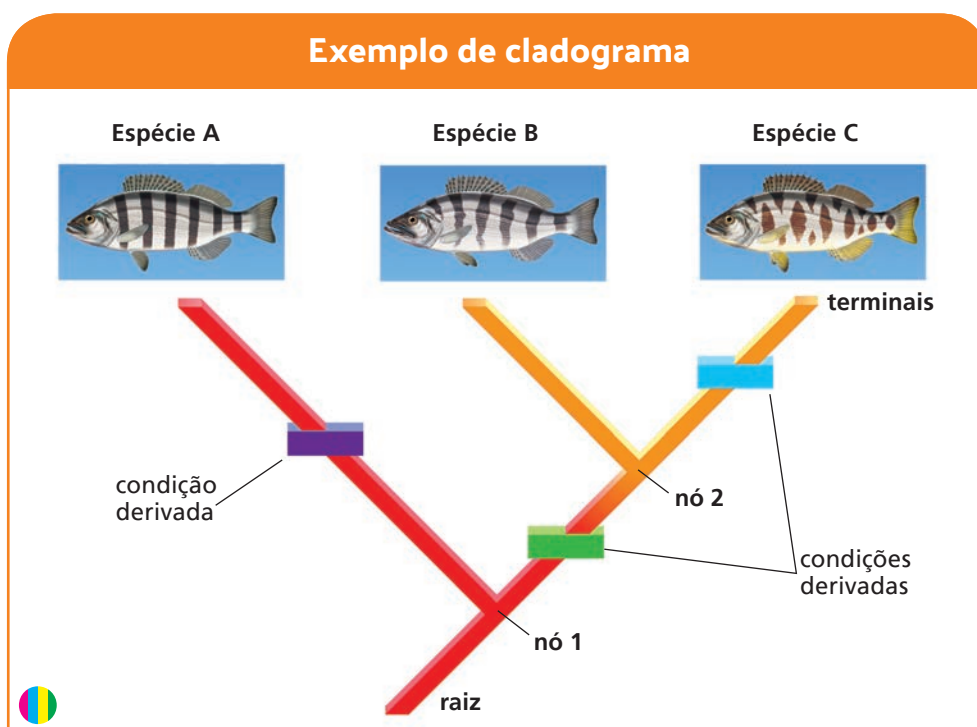
Suponha que no nosso exemplo fictício dos peixes do gênero *Hypotheticus*, diversas evidências corroboram a hipótese evolutiva apresentada pelo cladograma ao lado: a espécie A surgiu antes das espécies B e C, respectivamente. Considerando que o caráter analisado seja o padrão de listras no corpo, observa-se as seguintes condições desse caráter: “sete listras ao longo do corpo”, “listras contínuas”, “listras descontínuas” e “manchas ao longo do corpo”. Em que ponto do cladograma cada uma dessas condições seria indicada? Copie o cladograma em seu caderno e indique sua resposta.

Consulte o Manual.

### 3 Cladograma: representando o parentesco evolutivo em um diagrama

As relações evolutivas entre seres vivos são representadas em **cladogramas** (*clado* = ramo), ou árvores filogenéticas, que são diagramas ramificados representando uma hipótese de parentesco evolutivo entre grupos de seres vivos. Esses diagramas fazem parte do método de análise desenvolvido pela sistemática filogenética ou cladística, área de estudo que propõe classificar os seres vivos baseando-se em sua história evolutiva.

Vamos revisar aqui alguns pontos já abordados no volume anterior, pois serão importantes no estudo da evolução. Considere o cladograma abaixo, que representa as relações de parentesco evolutivo entre três espécies hipotéticas de peixes, todas elas pertencentes ao mesmo gênero, ao qual daremos o nome fictício *Hypotheticus*.



Osvaldo Sequetim/Arquivo da editora

Os táxons em estudo são indicados nos terminais do cladograma, que se localizam nos ápices dos ramos. Neste exemplo, os táxons analisados são espécies, mas é possível utilizar outras categorias de classificação (gênero, família etc.) na elaboração de cladogramas.

Geralmente, na elaboração de um cladograma, uma ou mais características são analisadas, de modo comparativo. Para cada característica analisada, são observadas as variações, procurando-se distinguir, entre essas variações, qual é a condição primitiva e quais são as “novidades evolutivas”, ou condições derivadas. A condição primitiva é a que já existia no grupo ancestral. As novidades evolutivas são as apontadas nos ramos do cladograma. Essas comparações são feitas entre estruturas homólogas; estruturas análogas não devem ser utilizadas nesta análise.

No cladograma do nosso exemplo, o traço verde indica uma condição derivada compartilhada pelas espécies B e C, mas não presente em A. Os demais traços indicam novidades evolutivas exclusivas de cada espécie.

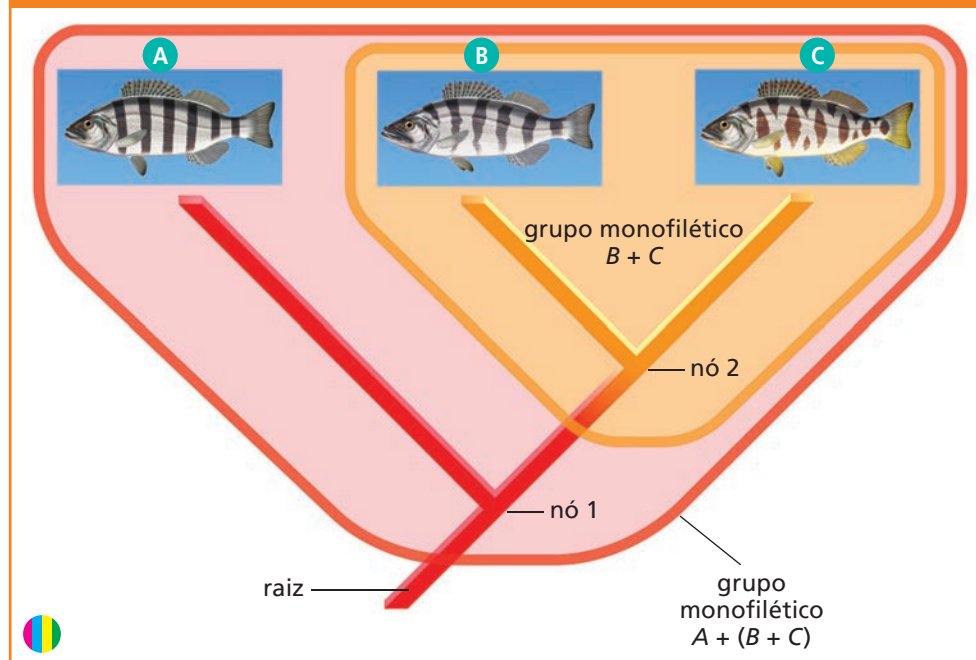
Como estamos utilizando um exemplo hipotético, somente as variações de uma característica estão sendo consideradas, mas lembre-se de que muitos caracteres podem ser analisados na construção de um cladograma.

No tipo de cladograma que preferimos utilizar nesta obra, há sempre uma raiz, representada pelo traço que inicia a representação do diagrama. Nesse tipo de representação fica evidenciada uma sequência de surgimento de condições derivadas das características.

O ponto de onde partem os ramos é chamado **nó**. Cada nó representa um grupo ancestral hipotético comum aos grupos localizados acima do nó. No nosso exemplo, vemos que as três espécies de peixe possuem um ancestral comum (nó 1). Na hipótese expressa pelo cladograma, esse ancestral deu origem à espécie A e ao ramo que posteriormente originou as espécies B e C. Estas duas espécies compartilham outro grupo ancestral exclusivo (nó 2) que não é compartilhado com A. Assim, podemos concluir que o parentesco evolutivo entre B e C é mais próximo do que entre A e B, ou entre A e C.

O conjunto formado pelo nó e por todos os ramos que partem dele constitui um **grupo monofilético**. No cladograma que estamos analisando, notamos que A e (B + C) compõem um grupo monofilético. Analisando o nó 2, notamos que dele partem os ramos que originaram B e C, formando outro grupo monofilético dentro do grupo monofilético maior formado a partir do nó 1. Há, no cladograma, portanto, grupos monofiléticos dentro de outros grupos monofiléticos maiores.

### Cladograma com indicação de grupos monofiléticos



Os ramos que compartilham o mesmo nó exclusivo são chamados **grupos-irmãos**; verifique em nosso exemplo hipotético, ilustrado acima, que os ramos B e C são grupos-irmãos.

O que vimos aqui está muito simplificado, mas serve para dar uma ideia de como a história evolutiva pode ser interpretada. Utilizamos com frequência o termo “ancestral comum exclusivo” e agora você pode entender melhor o conceito visualizando sua indicação em um cladograma.



#### MULTIMÍDIA

#### Sistemática e evolução para o Ensino Médio



Reprodução

<<http://www.bdc.ib.unicamp.br/bdc/visualizarMaterial.php?idMaterial=531#.Vuhj9mQrLYU>>

Utilize este tutorial interativo, com atividades e simuladores, para compreender os princípios da sistemática filogenética que descrevem a evolução dos seres vivos. Acesso em: 15 mar. 2016.




**PENSE E  
RESPONDA**

Consulte um dicionário da Língua Portuguesa para verificar o(s) significado(s) da palavra **adaptação**. Escreva em seu caderno a diferença entre o sentido dessa palavra em nosso dia a dia e seu significado em Biologia.

No dia a dia, é comum usar o termo adaptação com o significado de acomodação ou ajuste de uma coisa para dotá-la de novas finalidades. Em Biologia, o termo se refere a uma característica relacionada à sobrevivência sob determinadas condições, resultado do processo evolutivo, não tendo uma intenção ou finalidade.

Oxford Science Archive/Glow Images



^ Jean-Baptiste Lamarck.

Maurício Simonetti/Olhar Imagem



^ **Tuiuiú**, uma ave pernalta do Pantanal (mede cerca de 1 m de altura). Veja no texto como Lamarck e Darwin explicariam a evolução das aves pernalts.

## 4 Adaptação e teorias evolutivas

Voltemos ao exemplo que analisamos no início deste capítulo: a forma do corpo em vertebrados de hábito subterrâneo e escavador. É provável que você tenha se perguntado como é possível que animais de grupos diferentes possuam tantas características em comum.

Existe uma relação evidente entre o ambiente, o modo de vida desses animais e sua morfologia; eles estão adaptados ao ambiente em que vivem.

Será que o ambiente influencia na evolução dessas características? Ou seria mera coincidência?

A **adaptação** é resultado de um processo complexo em que ocorre a manutenção das formas que estejam em harmonia com o ambiente e, conseqüentemente, que permitam a sobrevivência do ser vivo e aumentem sua capacidade de gerar descendentes. O conceito evolutivo de adaptação envolve características relacionadas à sobrevivência e ao sucesso reprodutivo do organismo que podem ser transmitidas de geração em geração, podendo ser definidas como características da espécie.

Vejamos um exemplo: o homem que exercita seus músculos não terá filhos com músculos naturalmente desenvolvidos, pois essa característica adquirida pelo pai durante sua vida não é transmitida pelos seus gametas. Para terem músculos fortes, seus filhos terão de realizar os exercícios necessários. Essa característica não pode, portanto, ser associada ao conceito evolutivo de adaptação.

### <4.1> Jean-Baptiste Lamarck

Antigamente, acreditava-se que as características adquiridas pelo uso ou desuso fossem transmitidas aos descendentes.

A ideia de que características adquiridas seriam transmitidas aos descendentes foi incorporada à teoria evolutiva proposta por um naturalista francês de nome **Jean-Baptiste Lamarck**, que viveu entre 1744 e 1829. Sua teoria foi a primeira tentativa de explicação da evolução de forma sistemática, publicada em seu livro *Filosofia zoológica* (tradução do título em francês), no ano de 1809.

Para Lamarck, o uso de determinada estrutura do corpo faz com que essa estrutura se desenvolva, ocorrendo o contrário em caso da falta de uso. O cientista propôs que as modificações ocorridas em uma estrutura em função do uso ou desuso durante a vida seriam transmitidas aos descendentes, desde que fossem úteis à sua sobrevivência. Ocorreria, então, transmissão de características adquiridas pelo uso ou desuso.

Em sua obra, Lamarck utilizou diversas observações de animais para sustentar sua proposta de mecanismo de evolução.

A existência de aves pernalts, por exemplo, poderia ser explicada assim: as aves teriam adquirido pernas longas devido ao esforço para andar em águas rasas, possibilitando a captura de peixes e outras presas aquáticas sem molhar as penas. Com o esforço, as pernas teriam se desenvolvido e essa característica seria transmitida aos descendentes, que, assim, teriam pernas cada vez mais longas.

No entanto, mesmo que as pernas das aves se tornassem mais compridas ao longo da vida devido ao esforço (situação hipotética), essa característica adquirida não poderia ser transmitida aos descendentes.

A transmissão de caracteres adquiridos, proposta por Lamarck, não está de acordo com as leis da hereditariedade: apenas características determinadas no genótipo e presentes nos gametas de um indivíduo são hereditárias, e características poderão estar presentes nos descendentes. Características adquiridas durante a vida, que não resultam em alterações no material genético das células formadoras de gametas, não são hereditárias.

Lamarck não poderia ter explicado corretamente a transmissão das características hereditárias, pois na época nada se sabia sobre genes, DNA e os conhecimentos sobre herança eram incipientes.

A teoria evolutiva de Lamarck, embora não explicando corretamente como ocorre a evolução, tem grande valor histórico, pois ele teve o mérito de relacionar muitos exemplos de adaptações, ou seja, características dos seres vivos que estão relacionadas à sua sobrevivência no ambiente. Além disso, foi o primeiro a falar em evolução, em uma época em que esse assunto não era aceito pela maioria da comunidade científica.



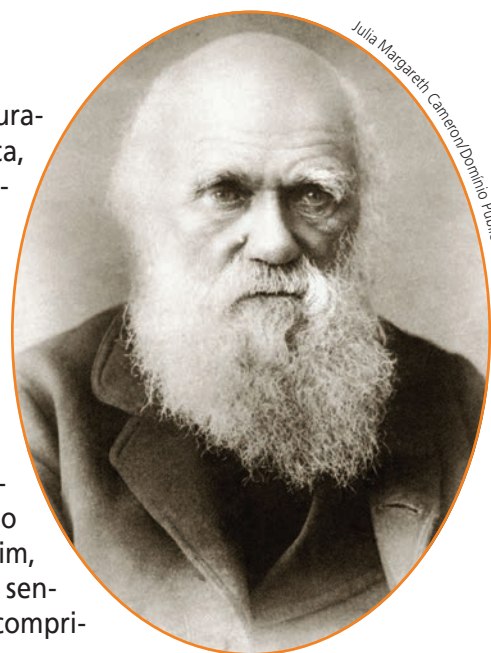
SUGESTÃO  
DE ATIVIDADE

## 4.2 Charles Darwin

Outra explicação para a evolução foi dada em 1859 pelo naturalista inglês **Charles Darwin**, que viveu entre 1809 e 1882. Na época, cinquenta anos após a publicação de Lamarck, ainda nada se sabia sobre DNA, cromossomos, divisão celular e a explicação para a hereditariedade. Darwin, tanto quanto Lamarck, também não conseguiu explicar a origem das variações nem os mecanismos de herança, mas sua interpretação sobre evolução por seleção natural se mostrou correta.

Vamos ver, então, como Darwin explicaria a evolução das aves pernaltas.

Imaginemos certa quantidade de aves adultas, todas convivendo em um mesmo ambiente. Os indivíduos de uma população não são idênticos entre si, existindo variabilidade de características. Assim, algumas aves teriam pernas mais compridas, outras, mais curtas, sendo possível estabelecer uma gama de variações na característica comprimento da perna.



Julia Margaret Cameron/Domínio Público

Charles Darwin.



### Criação

(Creation)

Direção de Jon Amiel.

108 min. Cor. Reino Unido, 2009.

Este filme conta a vida de Darwin, destacando os "bastidores" da publicação da obra *A origem das espécies*.



Divulgação

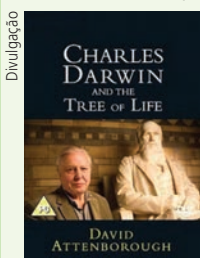
## MULTIMÍDIA

### Caminhos de Darwin no Rio de Janeiro

<<http://www.casadaciencia.ufrj.br/caminhosdedarwin/>>



Reprodução



Divulgação

### Charles Darwin e a Árvore da Vida

(Charles Darwin and the Tree of Life)

Escrito e apresentado por David Attenborough.

50 min. Cor. Reino Unido, 2009.

Este documentário, produzido pela rede BBC do Reino Unido, mostra evidências analisadas por Darwin que explicam como a evolução deu origem à enorme biodiversidade de nosso planeta.

Este site, da Casa da Ciência, Universidade Federal do Rio de Janeiro, traz textos e imagens da viagem de Darwin a bordo do *Beagle* e sua passagem pela região do Rio de Janeiro, no ano de 1832.

Acesso em: 01 abr. 2016.



As aves de pernas mais compridas teriam facilidade de andar na água, o que também auxiliaria sua alimentação, à base de peixes. As aves de pernas mais curtas teriam dificuldades de obter peixes mantendo o corpo fora da água e provavelmente teriam de disputar alimento com outros tipos de aves.

Neste ambiente hipotético, em que a oferta de alimento seria maior nos lagos e rios, pernas compridas podem ter conferido uma “vantagem” para os indivíduos na obtenção de alimento, aumentando suas chances de sobrevivência. Na natureza, indivíduos bem alimentados têm maiores chances de atingir a idade adulta e reproduzir-se.

Repare que, segundo essa hipótese que estamos imaginando, as aves pernal-tas não desenvolveram pernas mais compridas em resposta a uma situação – elas já nasceram com a “programação” genética que determinava pernas compridas na idade adulta. E, ao se reproduzir, um casal com pernas compridas geraria, com maior probabilidade, descendentes semelhantes, com pernas também compridas.

Esse exemplo é totalmente hipotético, mas é possível perceber que a natureza seleciona as formas mais bem adaptadas, favorecendo a sua sobrevivência, em detrimento das formas menos adaptadas, que tendem a morrer. Note que a natureza não cria formas para escolher; ela escolhe, seleciona, entre as formas existentes.

Esse processo, proposto por Darwin, recebe o nome de **seleção natural**.

As ideias de Darwin foram descritas em seu livro *A origem das espécies por meio da seleção natural*, que teve todos os exemplares de sua primeira edição, de 1859, vendidos no dia de seu lançamento.

Darwin iniciou a formulação da teoria da seleção natural muitos anos antes da publicação de sua famosa obra, durante uma memorável viagem de volta ao mundo, realizada no navio inglês *H. M. S. Beagle*, mais conhecido simplesmente por *Beagle*, entre dezembro de 1831 e outubro de 1836. Veja no mapa a seguir a rota seguida pelo navio, com os locais visitados por Darwin.



SUGESTÃO  
DE ATIVIDADE

✓ Gravura retratando o  
navio *H. M. S. Beagle*.



SPL/Latinstock

DIVULGAÇÃO PNLD

Maps World/Arquivo da editora



✓ **Rota do Beagle** indicada por linha vermelha. O ponto de partida e o de chegada foi a Inglaterra, onde Darwin vivia.

Adaptado de: FIGUEIRA, M. Darwin e a volta ao mundo pelo *Beagle*. *Ciência Hoje na Escola*, v. 9 - Evolução. São Paulo: Global, 2001.



Darwin partiu da Inglaterra em 1832 e retornou ao ponto de origem em 1837, tendo realizado o seguinte percurso: da Inglaterra chegou ao Brasil pelo oceano Atlântico, deslocou-se em direção ao Sul, pela costa leste da América do Sul, com paradas em algumas localidades no Brasil, no Uruguai e na Argentina; atravessou a Terra do Fogo, contornou o cabo Horn e se deslocou pela costa oeste, já no oceano Pacífico, realizando outras paradas, até atingir um dos pontos mais importantes de sua viagem, o arquipélago de **Galápagos**.

De Galápagos, viajando pelo Pacífico, passou pela Austrália, atingiu o oceano Índico, passando pela ilha Maurícia, região de Madagascar. Contornou o cabo da Boa Esperança e, já no oceano Atlântico, viajou por uma parte da costa oeste da África, rumando novamente para o Brasil, de onde retornou para a Inglaterra.

Darwin fez importantes observações em todos os lugares por onde passou. Mas suas principais e mais demoradas observações ele as fez no arquipélago de Galápagos, que pertence ao Equador.

Logo de início, Darwin teve sua atenção voltada para o fato de que cada uma das diferentes ilhas que formam o arquipélago possuía fauna e flora específicas.

As ilhas do arquipélago de Galápagos formaram-se a partir de erupções vulcânicas, em pleno oceano Pacífico. Assim, ao se formarem, eram destituídas de vida. Os animais e plantas que colonizaram as ilhas certamente vieram do continente mais próximo, que é a América do Sul. Muitas aves poderiam ter chegado a Galápagos trazendo sementes de plantas em suas asas e até mesmo em suas fezes, pois muitas sementes não sofrem digestão no sistema digestório das aves.

Um grupo de aves que chamou a atenção de Darwin em Galápagos foi o dos tentilhões. Existem 13 espécies que vivem no arquipélago, e Darwin propôs que todas elas tiveram sua origem a partir de um ancestral comum proveniente da América do Sul, provavelmente há cerca de 500 000 anos.

As espécies de tentilhões apresentam muitas semelhanças, diferindo principalmente no tamanho do corpo e na forma do bico. Como resultado do processo de seleção natural, essas características representam especializações para diferentes dietas, ou seja, permitem a obtenção do tipo de alimento disponível em cada ilha. Veja os exemplos ilustrados a seguir.

- Tentilhão com **bico adaptado para se alimentar de cacto**, especialmente do néctar de suas flores.

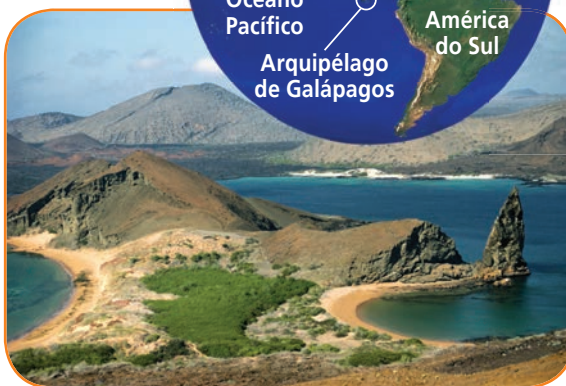
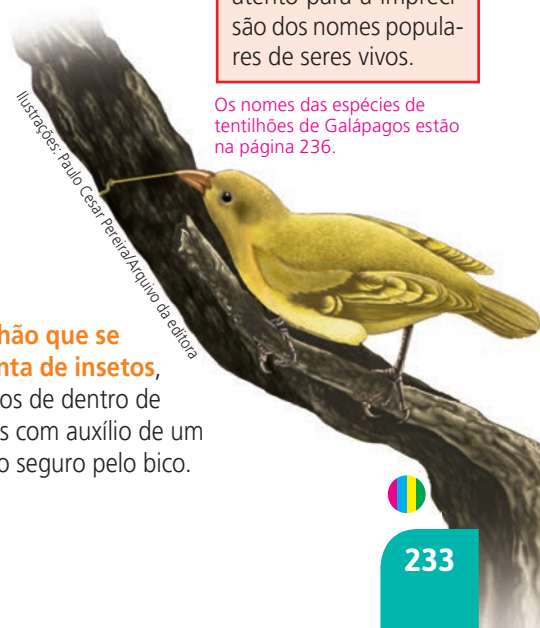
Os tentilhões estão representados em diferentes escalas.



- ◀ Tentilhão com **bico adaptado para comer frutos de casca resistente**.



- Tentilhão que **se alimenta de insetos**, retirados de dentro de troncos com auxílio de um graveto seguro pelo bico.



- ↗ Vista aérea de **Galápagos**. Acima, localização do arquipélago no globo terrestre.



#### ATENÇÃO

As 13 espécies de tentilhões observadas por Darwin nas ilhas de Galápagos não pertencem todas ao mesmo gênero. Na classificação atual dessas aves, cinco gêneros abrigam as espécies mencionadas por Darwin. O nome popular “tentilhão” não corresponde, portanto, a um único gênero. É preciso estar atento para a imprecisão dos nomes populares de seres vivos.

Os nomes das espécies de tentilhões de Galápagos estão na página 236.

Ilustrações: Paulo Cesar Pereira/Arquivo da editora



**PENSE E  
RESPONDA**

Compare a seleção artificial com o processo evolutivo de seleção natural, descrevendo em seu caderno, suas semelhanças e diferenças.

Certamente, os seres vivos que chegavam a Galápagos encontravam um ambiente diferente daquele em que viviam e ao qual estavam adaptados.

Começou, então, o processo de seleção natural, que tornou viáveis determinadas formas de vida, em detrimento de outras. Assim, aos poucos, foi surgindo uma comunidade formada por populações, muitas das quais, até hoje, encontradas somente em Galápagos.

No caso dos tentilhões, a hipótese de Darwin era a de que todas as espécies derivam de um mesmo grupo ancestral. Tal hipótese vem sendo confirmada por análises comparativas de DNA e do desenvolvimento embrionário dos tentilhões encontrados em Galápagos.

As condições ambientais variam de ilha para ilha, e também dentro de uma mesma ilha, que apresenta áreas de vegetação densa e de vegetação mais esparsa – isso significa que, em cada ambiente, a oferta de alimento é diferente. Segundo Darwin, essa diversidade nas condições ambientais está relacionada com as especializações na forma e tamanho do bico dos tentilhões. Um dos fatores evolutivos é a competição entre indivíduos de uma população, mais intensa em períodos de escassez de alimento (como nas secas), favorecendo os mais adaptados àquele ambiente. Esse processo de seleção natural, exposto aqui de forma simplificada, teria resultado a diversidade de bicos em tentilhões das ilhas Galápagos.

Dois outros exemplos interessantes de animais que existem somente em Galápagos são os enormes jabutis, que deram nome ao arquipélago, e os iguanas-marinhos, que se alimentam de algas.

Darwin também utilizou observações sobre domesticação de animais para desenvolver sua teoria de evolução por seleção natural. A domesticação seria um processo de **seleção artificial**, no qual algumas características são selecionadas e os indivíduos que as possuem são estimulados a gerar descendentes. Darwin acreditava que processo semelhante poderia ocorrer na natureza, porém de forma lenta e sem uma “intenção” no processo de seleção. Ele definiu evolução como a geração de “descendência com modificação”.

▲ **Jabuti-gigante**, de Galápagos. Os indivíduos de algumas espécies podem ultrapassar 1 m de altura e 100 kg de massa corpórea.

Os dois processos possuem, em comum, o resultado: a sobrevivência de determinadas variações em uma população, gerando uma descendência com modificação em relação à população original. Na seleção artificial, as variações são selecionadas de acordo com um objetivo ou propósito e ocorre em curtos intervalos de tempo. A seleção natural não possui um propósito e as condições ambientais selecionam os indivíduos mais aptos a sobreviver.

► **Iguanas-marinhos**, de Galápagos. Os machos são maiores do que as fêmeas e geralmente ultrapassam 1 m de comprimento.



DIVULGAÇÃO PNLD

FLPA/David Hosking

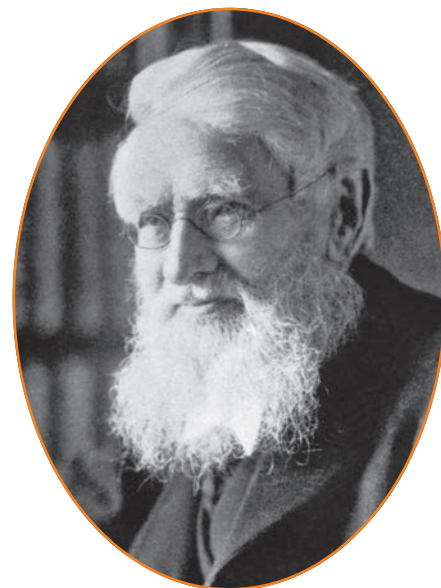


Imagebroker/Grupo Keystone

O naturalista inglês **Alfred Russel Wallace** (1823-1913) chegou a conclusões semelhantes às de Darwin a respeito do processo evolutivo por seleção natural, mas de forma independente. Ele se baseou em observações feitas em viagens à América do Sul e ao arquipélago Malaio (atualmente Malásia e Indonésia).

Charles Darwin, desde sua viagem ao redor do mundo, passou décadas revendo material coletado e analisando evidências. Reuniu grande quantidade de argumentos para sustentar sua teoria, mas ainda sentia-se receoso quanto a publicá-la.

Quando Wallace se preparava para publicar suas ideias, entrou em contato com Darwin por carta e os dois cientistas decidiram então anunciar suas conclusões simultaneamente. Como Darwin possuía número maior de observações para suportar suas hipóteses, publicadas na obra *A origem das espécies*, ele acabou sendo reconhecido mundialmente como o “pai” da teoria da evolução por seleção natural.



SP/Lainstock

^ Alfred Russel Wallace.



## ATIVIDADE PRÁTICA

### ! ALERTA

A atividade deve ser feita apenas sob a supervisão do professor.

### Um modelo para entender a seleção natural

Compreender a interação entre populações e ambiente que resulta na evolução biológica não é tarefa simples. Para muitos seres vivos, as modificações em uma população a partir de um grupo ancestral é processo lento, que não pode ser diretamente observado. Podemos também ter a falsa impressão de que existe finalidade ou propósito na seleção natural, o que não ocorre. Em grupo, faça a atividade a seguir, não se esquecendo desses importantes aspectos que acabamos de mencionar.

Atividade adaptada de: Centro de Difusão Científica e Cultural – CDCC, USP. Disponível em: <[http://www.cdcc.usp.br/exper/medio/biologia/4evolucao\\_al.pdf](http://www.cdcc.usp.br/exper/medio/biologia/4evolucao_al.pdf)>. Acesso em: 01 abr. 2016.

### < Material necessário >

- Punhados de sementes diversas, como alpiste, girassol, amêndoas, feijão etc.;
- uma bandeja média (pode ser aquelas de plástico usadas como embalagens);
- uma bandeja pequena, para cada aluno da equipe;
- ferramentas diversas, uma para cada aluno da equipe – exemplos: tesoura sem ponta, pinça de sobran-celha, prendedor de roupa, palitos de madeira (*hashi*).

### < Procedimentos >

1. As sementes devem ser dispostas sobre a bandeja maior.
2. Escolha uma das ferramentas. No intervalo de 10 minutos, cada um deve coletar, usando apenas a ferramenta, o maior número e a maior variedade possíveis de sementes. As sementes retiradas da bandeja maior devem ser colocadas em sua bandeja pequena.

c) O resultado esperado é a correspondência entre o formato da ferramenta utilizada e o tipo de material coletado com ela. De modo análogo, os diferentes tipos de bico nos tentilhões de Galápagos relacionam-se aos diferentes alimentos consumidos por cada uma das espécies.

### < Interpretando os resultados >

- a) Resposta pessoal.
- a. Verifique que tipos de sementes você conseguiu coletar e o número. Registre os dados de sua coleta em uma tabela. b) Resposta pessoal. Veja comentários no Manual.
- b. Compare seu resultado com o de seus colegas de equipe. É possível estabelecer alguma relação entre os tipos de sementes mais coletados por cada um? Explique.
- c. Compare a atividade realizada com a diversidade de tentilhões observada por Darwin em Galápagos.
- d. Suponha que um dos tipos de semente desapareça da área considerada. Baseando-se na atividade, quais seriam as consequências para a diversidade de tentilhões?

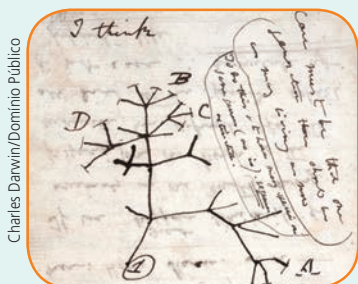
d) As espécies adaptadas ao consumo daquele alimento seriam prejudicadas, tendo a disponibilidade de alimento reduzida ou nula. As populações poderiam migrar para outras áreas ou ser extintas. Veja mais comentários no Manual.





## CURIOSIDADE

Anos após a viagem a bordo do *Beagle*, estudando os dados coletados, Darwin esboçou em seu caderno um diagrama ilustrando sua ideia de evolução, que explicaria, por exemplo, o caso dos tentilhões de Galápagos. A partir de um ancestral (1), diversos grupos teriam surgido. Junto ao desenho, Darwin escreveu "I think", que quer dizer "Eu acho".



Charles Darwin/Domínio Público

## 5 Irradiação adaptativa e evolução convergente

O caso dos "tentilhões de Darwin", como ficaram conhecidas essas aves, em que diferentes espécies se diversificaram a partir de um ancestral comum, é um exemplo de **irradiação adaptativa** ou **divergência evolutiva**. Esse processo resulta da seleção de variações de características que permitem a sobrevivência em ambientes distintos. Observe como a irradiação adaptativa na evolução dos tentilhões de Galápagos está representada no esquema abaixo.

A irradiação adaptativa apresenta-se como situação oposta à que observamos na **evolução convergente**, caso dos vertebrados escavadores, como a cecília, a anfisbena e algumas serpentes e lagartos, que apresentamos no início deste capítulo. Esses animais pertencem a grupos com histórias evolutivas distintas, ou seja, não compartilham um ancestral comum exclusivo. Nesse caso, o processo de seleção natural, ocorrendo separadamente em cada grupo, resultou a sobrevivência de indivíduos com determinadas características que favoreciam a vida e o sucesso reprodutivo em ambientes subterrâneos. Como as condições do ambiente eram semelhantes para cada grupo, formas corporais semelhantes foram selecionadas.

### Tentilhões de Galápagos: hipótese de irradiação adaptativa

#### Tentilhões insetívoros

Tentilhão-dos-mangues  
*Cactospiza heliobates*

Tentilhão-das-árvores-  
de-bico-médio  
*Camarynchus pauper*

Tentilhão-das-  
árvores-de-bico-  
pequeno  
*C. parvulus*

Tentilhão-das-árvores-de-  
bico-grande  
*C. psittacula*

Tentilhão-pica-pau  
*Cacstopiza pallidus*

Tentilhão-cantor  
*Certhidea olivacea*

#### Tentilhões granívoros

Tentilhão-da-terra-de-bico-grande  
*Geospiza magnirostris*

Tentilhão-da-terra-  
de-bico-agudo  
*G. difficilis*

Grande-tentilhão-  
dos-cactos  
*Geospiza conirostris*

Tentilhão-dos-cactos  
*G. scandens*

Tentilhão-da-terra-  
de-bico-médio  
*G. fortis*

Tentilhão-da-terra-  
de-bico-pequeno  
*Geospiza fuliginosa*

Tentilhão-vegetariano  
*Platyspiza cassirostri*

Ancestral comum

Esquema representando **hipótese de irradiação adaptativa dos tentilhões de Galápagos**. Observe as diferenças nos bicos dessas aves.

Adaptado de:

<<http://bioweb.uwlax.edu/bio203/f2012/volk.sara/adaptation.htm>>. Acesso em: 01 abr. 2016.



## 6 Potencial biótico e resistência do meio

Dois importantes fatores que participam do complexo processo de seleção natural são o **potencial biótico** e a **resistência do meio**, que devem ser analisados para cada população, pois nas comunidades estáveis as diferentes populações se mantêm numericamente constantes ao longo do tempo, com pequenas variações.

O potencial biótico corresponde à taxa teórica de crescimento de uma população em condições ideais, que é diretamente relacionada com a capacidade de reprodução dos indivíduos dessa população. Roedores como os ratos, por exemplo, têm, em condições favoráveis, elevado potencial biótico, pois se reproduzem em curtos intervalos de tempo e geram grande número de descendentes. A resistência do meio é o conjunto de fatores que se opõem ao potencial biótico, dificultando o aumento numérico de determinada população.

Existem diversos fatores que aumentam a resistência do meio, que podem ser abióticos (mudanças no clima e no relevo, por exemplo) e bióticos, resultado da interação dos organismos entre si. Dois importantes fatores que impedem as populações de crescimento ilimitado na natureza são a escassez de alimento e os inimigos naturais, como predadores e parasitas.

Pense, por exemplo, em uma população de mamíferos herbívoros que se alimentam preferencialmente das folhas de certa espécie de planta. A variedade de folha larga era a mais comum na região, mas havia outra, que produzia folhas finas e menos palatáveis para os herbívoros.

Com a pressão exercida pelo consumo dos herbívoros, as plantas de folhas largas tinham mais dificuldade em sobreviver e se reproduzir. As plantas da mesma espécie, com folhas finas, conseguiam crescer e formar suas sementes. Ao longo do tempo, a variedade de folhas finas passou a ser abundante.

O exemplo anterior ilustra como a interação ecológica entre uma espécie de planta e um animal exerceu pressão seletiva na população da planta. Os herbívoros certamente teriam de migrar para outras áreas à procura de folhas mais palatáveis. Talvez alguns indivíduos da população de herbívoros capazes de se alimentar das folhas finas e pouco palatáveis conseguissem sobreviver na região.

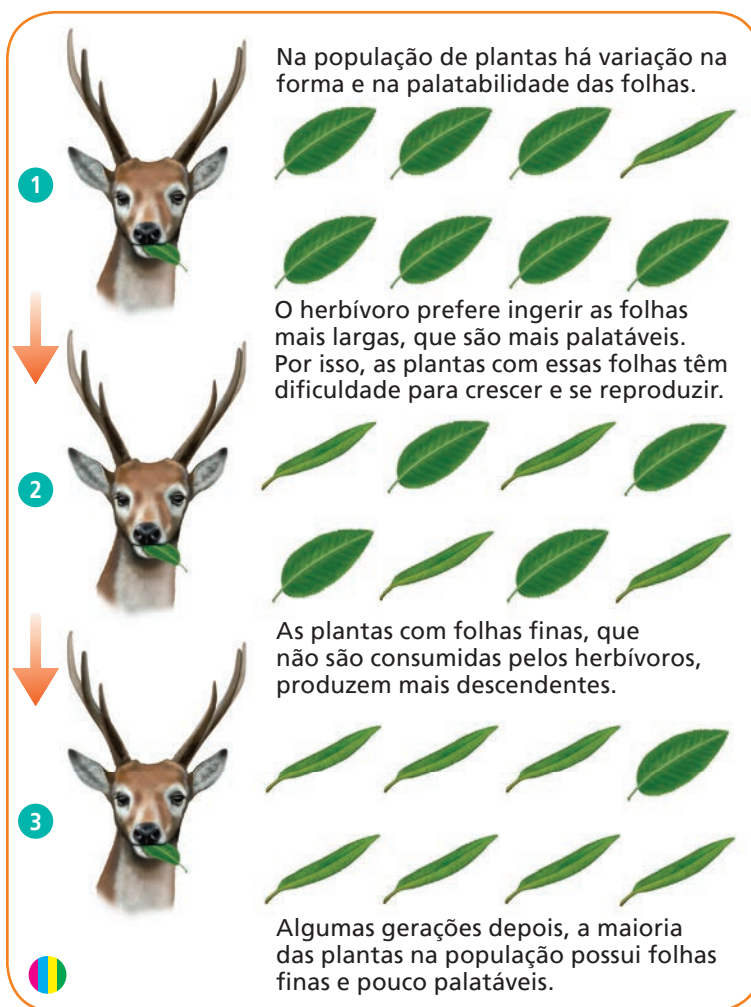
É importante lembrar que as interações ecológicas envolvendo cada população de uma comunidade são complexas e que diversos fatores em conjunto atuam como resistência do meio. Essas interações participam, portanto, do processo de seleção natural.



### PENSE E RESPONDA

Tente citar alguns exemplos de como o meio pode oferecer resistência ao crescimento de uma população. Registre o exemplo no caderno na forma de um esquema.

Resposta pessoal. Veja um exemplo no Manual.



Oswaldo Sequeirin/Arquivo da editora

Esquema representando o **efeito da seleção natural** em uma população hipotética de plantas.



## A evolução do pescoço das girafas: exemplo clássico de seleção natural

Em livros de Biologia de diversas partes do mundo, nos capítulos destinados à evolução dos seres vivos, é comum o exemplo da girafa para a explicação da diferença entre as ideias de Lamarck e de Darwin.

Você mesmo já deve ter se deparado com esse exemplo. De acordo com o lamarckismo, as girafas não possuíam o longo pescoço que as caracterizam há muitas gerações. No ambiente em que vivem, as savanas africanas, a disputa por alimento entre os animais herbívoros e a grande disponibilidade de folhas tenras no alto das árvores fez com que as girafas esticassem progressivamente seu pescoço para alcançá-las. Com o uso, o pescoço se desenvolvia e esse aumento era transmitido à descendência. Assim, após muitas gerações, o pescoço das girafas havia aumentado consideravelmente.

Segundo a teoria da seleção natural proposta por Darwin, a interpretação seria diferente. Nas savanas africanas, existiriam indivíduos com pescoços mais compridos e outros mais curtos, resultando em uma gama de comprimentos de pescoço. Os indivíduos de pescoço mais comprido possuíam, naquele ambiente, uma vantagem sobre os outros, pois conseguiam se alimentar das folhas das árvores mais altas, evitando assim a competição por alimento com outros herbívoros. Desse modo, com maior disponibilidade de alimento, cresciam mais saudáveis e tinham mais chances de sucesso reprodutivo.

Esse exemplo tem sido, no entanto, bastante contestado por cientistas, como o norte-americano Stephen Jay Gould (1941-2002), que em 1996 escreveu um artigo para uma revista de divulgação científica afirmando que o caso da girafa é utilizado pela força de sua tradição, mas não é baseado em evidências.

Nem Lamarck, em seu livro *Filosofia Zoológica*, nem Darwin deram destaque ou utilizaram a girafa como símbolo do processo evolutivo. Aliás, apenas na sexta edição de *A Origem das espécies por meio da seleção natural*, Darwin utilizou o pescoço das girafas para exemplificar um dos pontos de sua teoria.

Segundo estudos recentes, a obtenção de alimento não deve ter sido a principal pressão

seletiva relacionada ao tamanho do pescoço das girafas. As críticas à ideia de que o pescoço da girafa “cresceu” como resposta à competição por alimento vêm das seguintes observações.

As girafas se alimentam das folhas das árvores durante a estação chuvosa; durante a seca alimentam-se de arbustos, com o pescoço paralelo ao solo. Além disso, na estação das chuvas as folhas das árvores são abundantes, não sendo observada competição entre herbívoros pelas folhas mais baixas das árvores.

As fêmeas de girafas possuem o pescoço significativamente menor do que dos machos, assim, se dependessem do pescoço longo para obter alimento e sobreviver, as girafas seriam extintas!

Não há, no registro fóssil, formas aparentadas com girafas apresentando pescoços gradativamente maiores.

Os cientistas propõem que o pescoço longo ofereça vantagens na disputa entre machos por fêmeas (eles realizam batalhas com “pescoçadas”) e na observação de predadores à distância. Além disso, o pescoço das girafas apresenta um conjunto complexo de características que permitem a sobrevivência do animal, como válvulas especiais em suas veias e artérias, e adaptações do sistema respiratório.

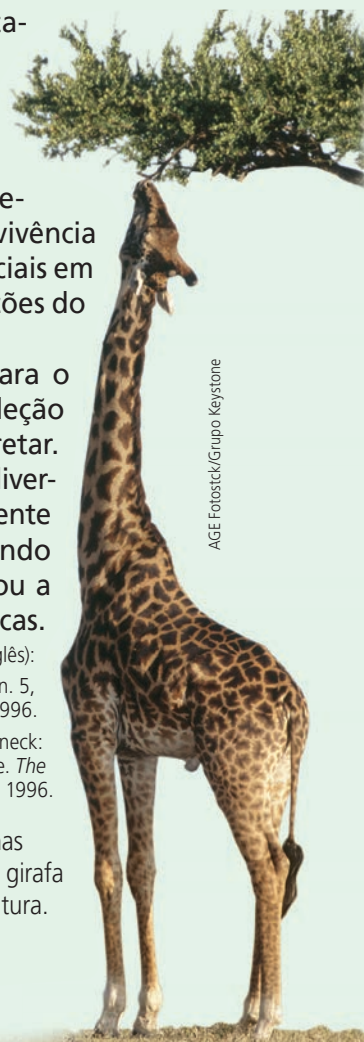
Devemos estar atentos para o fato de que o processo de seleção natural não é simples de interpretar. Na realidade, forças seletivas diversas podem atuar simultaneamente sobre uma população, não sendo possível afirmar o que provocou a seleção de algumas características.

Fontes (em inglês):

GOULD, S. J. The tallest tale. *Natural History*, n. 5, v. 105, maio 1996.

SIMMONS, R. E.; SCHEEPERS, L. Winning by a neck: sexual selection in the evolution of giraffe. *The American Naturalist*, n. 5, v. 148, nov. 1996.

> Uma girafa alimenta-se de folhas de árvore na savana africana. A girafa adulta mede cerca de 4 m de altura.



AGE Fotostock/Grupo Keystone





## 1 Ontogenia e filogenia

O estudo comparativo da **embriologia** pode ser feito com animais, já que todos possuem desenvolvimento embrionário.

Os diferentes grupos de animais apresentam grande semelhança em determinadas etapas do desenvolvimento embrionário, semelhança essa que é tanto maior quanto mais próximo

o parentesco entre as formas analisadas. Assim, se compararmos o desenvolvimento embrionário de um peixe com o de um anfíbio, notaremos semelhanças maiores do que entre peixe e mamífero. Este fato foi interpretado como evidência de parentesco evolutivo entre animais.

Etapas do desenvolvimento de três vertebrados

Ovo	Últimas clivagens	Estágio 1	Estágio 2	Estágio 3	Estágio 4	Adulto
						peixe
						anfíbio
						mamífero

As figuras estão representadas em diferentes escalas.

Paulo Cesar Pereira/Arquivo da editora

A **ontogenia** é o estudo do desenvolvimento do indivíduo, que inclui embriologia; a **filogenia** é o estudo das relações evolutivas entre as espécies.

Ao analisarmos as semelhanças entre embriões de diferentes animais precisamos estar atentos para não incorrerem em enganos, que já foram cometidos na história da Ciência. Por muito tempo aceitou-se a noção de que a "ontogenia era uma recapitulação abreviada da filogenia", com base em estudos de Ernest Haeckel, que formulou no final do século XIX a "teoria da recapitulação". De acordo com essa teoria, durante o desenvolvimento embrionário o indivíduo passaria por fases que representavam estágios de seus antepassados adultos. Isso de

fato não ocorre. O que realmente ocorre é certa semelhança entre os estágios iniciais do desenvolvimento embrionário, semelhança essa tanto maior quanto mais próximas estejam as espécies, do ponto de vista evolutivo. Essa ideia mais correta foi proposta inicialmente por Von Baer, naturalista que viveu entre 1792 e 1876.

Ernest Heinrich Philipp August Haeckel (1834-1919) foi um naturalista alemão fortemente influenciado pela teoria evolutiva de Charles Darwin, de quem se tornou grande defensor. Fez numerosas expedições para estudo de diversos animais e protozoários, e foi o primeiro a propor uma "árvore genealógica" dos animais, ilustrando relações evolutivas entre eles.

### DEPOIS DA LEITURA...

O texto menciona a "teoria da recapitulação", proposta por Haeckel, que se mostrou incorreta com o avanço dos estudos em evolução e em embriologia. De modo análogo, Lamarck também propôs um mecanismo para explicar a evolução dos seres vivos, refutado após os estudos de Darwin e Wallace. No entanto, hipóteses e teorias que se mostram incorretas têm grande valor para o desenvolvimento da Ciência. Você concorda com essa afirmação? Justifique sua resposta, utilizando em sua argumentação o exemplo de Haeckel ou de Lamarck.

Resposta pessoal. Espera-se que os alunos percebam, pelos exemplos de Haeckel e Lamarck, que no desenvolvimento de estudos científicos as divergências e questionamentos são fundamentais.

## 2 Um pouco da biografia de Wallace

Alfred Russel Wallace nasceu na Inglaterra em 1823. Aos 20 anos de idade, tornou-se professor de uma escola onde ensinava inglês e matemática. No contato com a biblioteca da escola, interessou-se pelos livros de história natural e, algum tempo depois, começou a trabalhar com Henry Walter Bates, naturalista que estudava insetos.

Na época de Wallace (a mesma de Darwin), existiam duas correntes filosóficas a respeito da origem das espécies: o **fixismo**, que considerava que as espécies não mudam ao longo do tempo, e o **transformismo**, que aceitava a ideia de evolução. Wallace, convencido de que as espécies mudam ao longo do tempo geológico, propôs a Bates que realizassem uma viagem ao Brasil para coletar animais, aumentando assim suas coleções para estudo e busca por evidências de processos evolutivos.

Em abril de 1848, Bates e Wallace partiram da Inglaterra para Belém do Pará, onde se separaram, para realizarem coletas em áreas distintas. Wallace concentrou seus esforços no curso médio do rio Amazonas e no rio Negro; neste último, chegou a um ponto onde nenhum estudioso havia chegado e desenhou o mapa mais detalhado e preciso, até aquela época, do rio Negro.

Em 1852, sofrendo com sintomas da malária, Wallace decidiu retornar à Inglaterra. Na viagem de volta, o navio sofreu um incêndio e afundou em alto-mar; grande parte das anotações e dos animais coletados foram perdidos. Wallace e os tripulantes foram resgatados após passarem 10 dias em botes salva-vidas.

Parte das anotações e desenhos de Wallace, resgatados pela tripulação, serviram de base para o livro *Viagens no rio Amazonas e Negro*, em que relatou sua viagem pelo norte do Brasil.

Anos depois, viajou novamente, desta vez com destino ao arquipélago Malaio, localizado entre os oceanos Índico e Pacífico. Durante oito anos de expedição, percorreu todas as ilhas do arquipélago e coletou milhares de pequenos animais para estudo. Suas observações foram reunidas no livro *O Arquipélago Malaio*.

Nessa viagem, Wallace conseguiu reunir evidências do processo evolutivo. Em 1855 publicou um artigo científico: *Sobre a lei que regulou a introdução de novas espécies*.

Um importante geólogo daquela época, Charles Lyell, impressionou-se com o trabalho de Wallace e alertou Darwin, seu conhecido, de que deveria publicar logo suas ideias sobre evolução, mas Darwin preferiu esperar. Em março de 1858, Wallace enviou uma carta para Darwin descrevendo seus dados e propondo o mecanismo da seleção natural como explicação. Ao ler a carta, Darwin percebeu a semelhança com suas ideias e pediu a Charles Lyell que publicasse o trabalho de Wallace. Lyell e outros cientistas, no entanto, quiseram convencer Darwin a publicar seus ensaios primeiro. Darwin decidiu publicar com Wallace um documento que foi lido em reunião de uma sociedade científica chamada *Linnean Society*.

Fonte: The Alfred Russel Wallace Website (em inglês). Disponível em: <<http://wallacefund.info/>>.  
Acesso em: 26 fev. 2016.

➤ **Borboleta** da espécie *Ornithoptera croesus*, descoberta por Wallace durante sua viagem à Malásia, ilha do arquipélago Malaio. Seu corpo mede cerca de 5 cm de comprimento.



National Museums Northern Ireland

### DEPOIS DA LEITURA...

- Explique a importância dos trabalhos de Wallace para a teoria evolutiva aceita até hoje.
- Charles Darwin certamente é muito mais famoso do que Wallace, e foi o primeiro a ser considerado o "pai" da teoria da evolução por seleção natural. Por quê?

a) Wallace propôs a seleção natural como mecanismo de evolução biológica, de forma independente de Darwin.  
b) Darwin reunia maior número de evidências e era admirado por cientistas da época, que o incentivaram na publicação de sua obra.

## Revedo e aplicando conceitos

- O cóccix, na espécie humana, é um conjunto de pequenos ossos ao final da coluna vertebral. A maioria dos mamíferos apresenta essa região bem desenvolvida, constituindo a cauda.
  - A comparação desses ossos em humanos e outros mamíferos pode ser uma evidência de processo evolutivo? Justifique. 1. a) Sim. As estruturas vestigiais, como o cóccix, indicam ancestralidade comum entre seres humanos e outros mamíferos.
  - Procure explicar o surgimento de um cóccix não desenvolvido em humanos de acordo com:
    - Lamarck
    - Darwin
- No interior do Ceará, pesquisadores escavaram vários metros e encontraram fósseis de peixes e de outros seres marinhos, do período Devoniano (cerca de 350 milhões de anos atrás).



Observe a tabela a seguir, que apresenta as mudanças no ambiente que ocorreram nos continentes há milhões de anos.

Período	Milhões de anos atrás	Principais transformações na superfície terrestre
Cambriano	600-500	Os mares eram extensos e recobriam a maior parte dos continentes.
Devoniano	395-345	Os mares recobriam a maior parte dos continentes. Em certas regiões, havia vulcões e formação de montanhas.
Permiano	280-230	Os mares regrediram e os continentes ficaram maiores.
Terciário	65-1	Surgimento das cordilheiras dos Andes e Himalaia.

Depois de observar atentamente a tabela, dê uma explicação para a ocorrência de fósseis de peixes no interior do Brasil, baseando-se nos conceitos vistos neste capítulo.

- O tubarão, um peixe cartilaginoso cuja linhagem surgiu há cerca de 400 milhões de anos, possui corpo fusiforme, hidrodinâmico, com nadadeiras. A mesma forma do corpo é observada nos golfinhos, mamíferos aquáticos que possuem os membros anteriores transformados em nadadeiras. Esse é um exemplo

- Irradiação adaptativa, pois de um grupo ancestral surgiram novos grupos de elasmobrânquios.

de irradiação adaptativa ou de evolução convergente? Justifique. 3. Evolução convergente, pois pertencem a linhagens evolutivas distintas (peixes cartilaginosos e mamíferos).

- Os primeiros fósseis do grupo ao qual pertencem os tubarões atuais, os elasmobrânquios, datam do período Carbonífero (350 milhões de anos atrás), e correspondem a poucos representantes. Fósseis do período Triássico (aproximadamente 245 milhões de anos atrás) indicam uma diversidade de formas, com exemplos de raias, cações e tubarões de grande porte. Esses fósseis apresentam características no esqueleto e mandíbula semelhantes às formas atuais. Esse é um exemplo de irradiação adaptativa ou de evolução convergente? Justifique.

- É comum ouvirmos que é preciso cuidado ao tomar antibióticos, pois as bactérias podem “se tornar resistentes” ao medicamento com seu uso contínuo. Escreva uma crítica a essa afirmação e proponha uma explicação para o surgimento de bactérias resistentes a antibióticos pelo seu uso inadequado, de acordo com a noção de seleção natural. 5. Consulte o Manual.

- Observe os dados abaixo, resultados da comparação do genoma de quatro espécies de primatas. Eles foram obtidos pela técnica de hibridação do DNA: as duas cadeias complementares do DNA do indivíduo de uma espécie são separadas e depois promove-se o emparelhamento com a cadeia de outro indivíduo, de outra espécie. O grau de associação entre as duas cadeias indica o grau de similaridade entre os dois DNAs. 6. Ser humano e chimpanzé possuem parentesco evolutivo muito próximo.

Táxons	Diferenças na sequência de nucleotídeos do DNA (%)
Ser humano/chimpanzé	1,6
Ser humano/gibão	3,5
Ser humano/macaco reso	5,5

Fonte: PURVES et al. *Life: the science of biology*, 5. ed. EUA: Ed. Freeman, 1997, p. 497.

O que podemos concluir sobre o parentesco evolutivo entre esses primatas, baseando-se apenas nos dados da tabela?

## Trabalhando com gráficos

- O texto a seguir inicia o artigo “A bicentenária filosofia zoológica de Lamarck”, de Eli Vieira e Rosana Tidon, da Universidade de Brasília.

2. O ambiente que hoje corresponde ao interior do Brasil já foi muito diferente em períodos geológicos passados. Veja comentários no Manual.



O nome do naturalista francês Jean-Baptiste Pierre Antoine de Monet (1744-1829), que ganhou o título de cavaleiro de Lamarck, é muitas vezes citado como sinônimo de ciência ruim, mas essa fama é injusta. Ele foi um cientista importante, que trouxe novas ideias para diversas áreas do conhecimento. A injustiça histórica em relação a Lamarck está ligada às suas ideias sobre a evolução dos animais, lançadas há exatos 200 anos, no livro *Filosofia Zoológica*. [...]

As principais diferenças entre esses dois naturalistas [Lamarck e Darwin] se referem à descendência a partir de ancestrais comuns por meio da seleção natural (ideia de Darwin, não compartilhada por Lamarck), e à concepção de que a vida surge muitas vezes por geração espontânea... (ideias de Lamarck, não compartilhadas por Darwin).

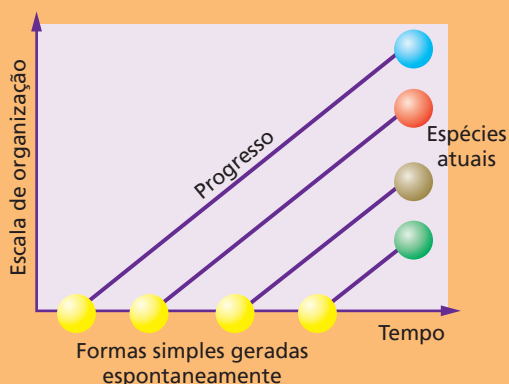
*Ciência Hoje*, v. 45, n. 265, nov. 2009, p.70-72.

7. a) Lamarck defendeu a ideia de evolução biológica numa época em que se defendia o fixismo das espécies ao longo do tempo.

Apos a leitura, responda às questões:

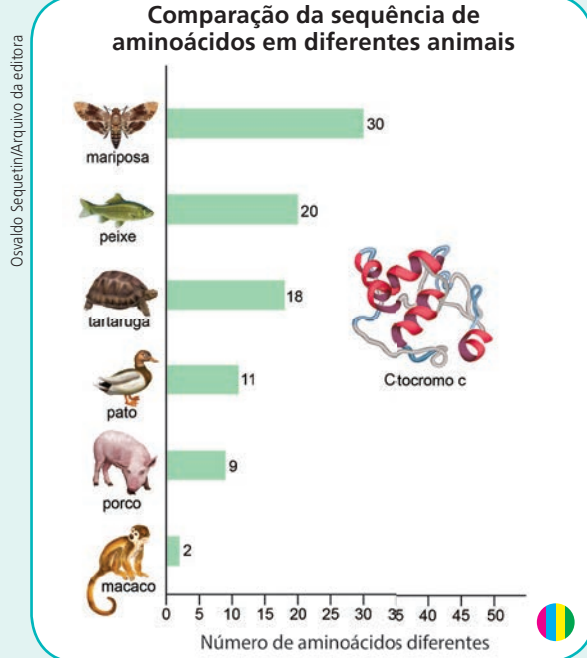
- Os autores afirmam que Lamarck foi injustiçado. Explique a importância das ideias de Lamarck para a história do pensamento evolutivo.
- Busque em livros e sites de divulgação científica algumas informações a respeito de outros trabalhos científicos realizados por Lamarck. Não se esqueça de citar as fontes de consulta que você utilizar.
- Analisar o gráfico a seguir, mostrado no artigo citado. Esse gráfico pode ser relacionado às ideias evolucionistas de Lamarck ou de Darwin? Por quê?

#### Representação de uma hipótese evolutiva



8. O gráfico a seguir mostra, de modo simplificado, o resultado de uma pesquisa que comparou a sequência primária da proteína citocromo c, em seres humanos e outros animais.

7. c) O gráfico se relaciona às ideias evolucionistas de Lamarck: um aumento progressivo na escala de organização dos seres vivos, dando uma intenção de progresso ou melhoria ao processo evolutivo.



Fonte: MADER, S. S. *Concepts of Biology*. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 2011, p. 258.

- Qual dos animais possui maior semelhança, no citocromo c, com a espécie humana?
- Entre os animais mostrados, qual deles possui parentesco evolutivo mais distante com a nossa espécie? Por quê?

#### Questões do Enem e de vestibulares

9. (Enem-2008) Usada para dar estabilidade aos navios, a água de lastro acarreta grave problema ambiental: ela introduz indevidamente, no país, espécies indesejáveis do ponto de vista ecológico e sanitário, a exemplo do mexilhão dourado, molusco originário da China. Trazido para o Brasil pelos navios mercantes, o mexilhão dourado foi encontrado na bacia Paraná-Paraguai em 1991. A disseminação desse molusco e a ausência de predadores para conter o crescimento da população de moluscos causaram vários problemas, como o que ocorreu na hidrelétrica de Itaipu, onde o mexilhão alterou a rotina de manutenção das turbinas, acarretando prejuízo de US\$ 1 milhão por dia, devido à paralisação do sistema. Uma das estratégias utilizadas para diminuir o problema é acrescentar gás cloro à água, o que reduz em cerca de 50% a taxa de reprodução da espécie.

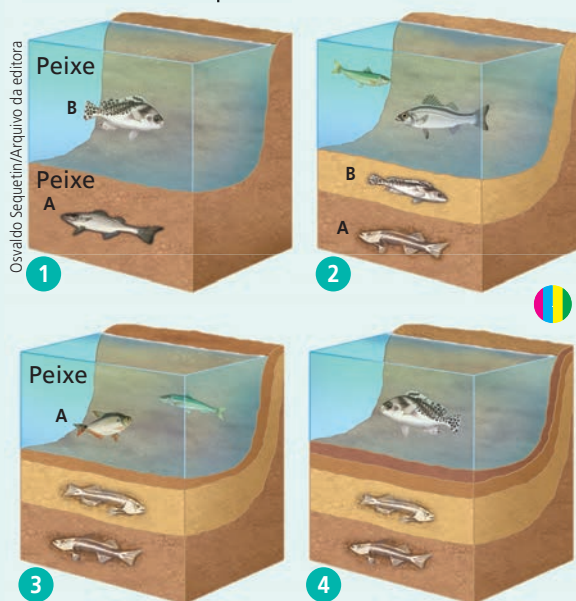
GTÁGUAS, MPF, 4ª CCR, ano 1, n. 2, maio/2007 (com adaptações).

De acordo com as informações acima, o despejo da água de lastro:

- a. é ambientalmente benéfico por contribuir para a seleção natural das espécies e, conseqüentemente, para a evolução delas.
- b. trouxe da China um molusco, que passou a compor a flora aquática nativa do lago da hidrelétrica de Itaipu.
- c. causou, na usina de Itaipu, por meio do microrganismo invasor, uma redução do suprimento de água para as turbinas.
- d. introduziu uma espécie exógena na bacia Paraná-Paraguai, que se disseminou até ser controlada por seus predadores naturais.

9. e. motivou a utilização de um agente químico na água como uma das estratégias para diminuir a reprodução do mexilhão dourado.

10. (UEG-GO) A figura abaixo ilustra um importante processo que é analisado por paleontólogos para o entendimento das variações de complexidade e de diversidade de espécies.



Sobre esse processo, responda ao que se pede.

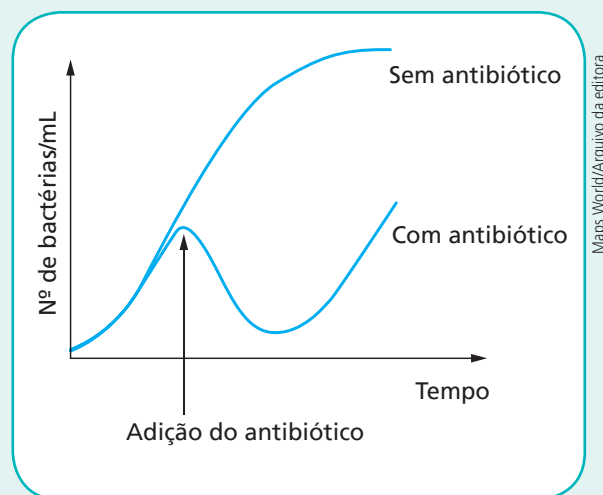
- a. Qual o processo em questão? 10. a) Fossilização.
  - b. De que forma esse processo pode contribuir para o entendimento da evolução dos organismos?
11. (Enem-2005) As cobras estão entre os animais peçonhentos que mais causam acidentes no Brasil, principalmente na área rural. As cascavéis (*Crotalus*), apesar de extremamente venenosas, são cobras que, em relação a outras espécies, causam poucos acidentes a humanos. Isso se deve ao ruído de seu "chocalho", que faz com que suas vítimas percebam sua presença e as evitem. Esses animais só atacam os seres humanos para sua

10. b) O registro fóssil fornece evidências de como eram os organismos extintos e o ambiente onde viviam, auxiliando a estabelecer os de parentesco evolutivo entre espécies atuais e extintas.

defesa e se alimentam de pequenos roedores e aves. Apesar disso, elas têm sido caçadas continuamente, por serem facilmente detectadas. Ultimamente os cientistas observaram que essas cobras têm ficado mais silenciosas, o que passa a ser um problema, pois, se as pessoas não as percebem, aumentam os riscos de acidentes. A explicação darwinista para o fato de a cascavel estar ficando mais silenciosa é que

- a. a necessidade de não ser descoberta e morta mudou seu comportamento.
- b. as alterações no seu código genético surgiram para aperfeiçoá-la.
- c. as mutações sucessivas foram acontecendo para que ela pudesse adaptar-se.
- d. as variedades mais silenciosas foram selecionadas positivamente.
- e. as variedades sofreram mutações para se adaptarem à presença de seres humanos

12. (UERJ) Foram introduzidas em dois frascos, que contêm um mesmo meio de cultura, quantidades idênticas de um tipo de bactéria. Após algum tempo de incubação, adicionou-se, a apenas um dos frascos, um antibiótico estável, de uso frequente na clínica e cuja concentração não se modificou durante todo o experimento. O gráfico a seguir representa a variação do número de bactérias vivas no meio de cultura, em função do tempo do crescimento bacteriano em cada frasco.



A observação do gráfico permite concluir que, no frasco em que se adicionou o antibiótico, ocorreu grande diminuição do número de bactérias. Utilizando a teoria da seleção natural, explique o fato de essa população ter voltado a crescer, após a diminuição observada.

12. A resistência ao antibiótico teria surgido na população de bactérias por mutação gênica. Na presença do antibiótico, as bactérias mutantes sobreviveram. Assim a população não foi extinta e, depois de algum tempo, voltou a crescer.

# Teoria sintética da evolução, especiação e genética de populações



## 1 Introdução



### RECORDE-SE

#### População

Conjunto de seres vivos de uma mesma espécie que compartilham um determinado espaço geográfico, no mesmo intervalo de tempo.

Conforme vimos no capítulo anterior, Darwin considerou a **população** como unidade evolutiva. Ele identificou e estudou as variações que ocorrem nas diferentes populações de uma comunidade e, como ponto alto de seu estudo, elaborou o que hoje é conhecido como **teoria da evolução por seleção natural**, explicando que as variações vantajosas para a sobrevivência dos organismos em determinado ambiente são selecionadas positivamente. Assim, os portadores dessas variações têm sua sobrevivência e reprodução favorecidas e maior probabilidade de deixar descendentes na população.

Os conhecimentos da época não permitiam explicar os fatores determinantes da ocorrência das variações nos indivíduos de uma população. Esse foi o principal ponto de críticas à teoria da seleção natural, durante muitos anos.

Com o desenvolvimento da Genética, descobriu-se, algumas décadas depois da morte de Darwin, que a base da hereditariedade é o material genético e que características adquiridas ao longo da vida de um indivíduo, pelo uso e desuso, não podem ser transmitidas aos descendentes, confirmando a invalidade da hipótese evolutiva de Lamarck.

Por maiores que sejam as semelhanças entre indivíduos de uma mesma espécie, eles não são idênticos, a não ser nos casos de gêmeos univitelinos e nos que surgem por reprodução assexuada em que não houve mutação. Além disso, há fatores ambientais atuando sobre o genótipo, determinando certos fenótipos.

Tornou-se evidente que existem mecanismos que garantem a variabilidade na descendência. Entre esses mecanismos, existe a formação de gametas na reprodução sexuada e a fecundação, que é um fenômeno aleatório, ou seja, não é possível, em situações naturais, escolher qual será o genótipo do zigoto. Outro mecanismo, que ocorre também em seres de reprodução assexuada, é a mutação, que pode atingir genes ou cromossomos inteiros, alterando a informação genética da célula.



↗ Alguns indivíduos de uma **população de ouriços-do-mar**. A população é a unidade de estudo em evolução. Apesar de aparentemente idênticos na morfologia externa, podem existir variações em características entre os indivíduos, que medem cerca de 12 cm de diâmetro.

Sugerimos perguntar aos alunos se, na opinião deles, todos os indivíduos da população de ouriços-do-mar são idênticos e quais seriam as possíveis diferenças entre eles. Considerando que eles se reproduzem de modo sexuada, os ouriços-do-mar de uma mesma população não são geneticamente idênticos. As diferenças entre os indivíduos não são, necessariamente, na morfologia externa – podem ser diferenças moleculares, fisiológicas e outras. Esse exercício pode auxiliar os alunos a compreender o conceito de variabilidade em uma população.



Todo indivíduo traz, portanto, a possibilidade de desenvolvimento de uma série de características, cuja manifestação é influenciada ou condicionada pelo ambiente. Pode-se explicar isso de outra maneira: o **fenótipo**, conjunto das características de um indivíduo, é o resultado do meio atuando sobre seu **genótipo**, conjunto de seus genes, ou seja, de seu patrimônio hereditário.

Estava aí a explicação para a variabilidade dentro de uma população, sobre a qual a seleção natural atua. Diversos cientistas incorporaram conhecimentos de genética e evolução e, tomando como base a teoria de Darwin sobre seleção natural, acabaram por desenvolver a **teoria sintética da evolução**, ou **neodarwinismo**.

## 2 Teoria sintética da evolução

O **conjunto gênico** de uma população, que é o conjunto de todos os alelos que ocorrem nesse grupo, é sempre maior que o número de alelos existentes em cada indivíduo. Considere uma espécie diploide, que apresenta genes para os quais existem dois alelos e genes para os quais há diversos alelos (polialelia). Assim, um indivíduo possuirá determinados alelos do conjunto gênico de sua população, mas não todos eles. Por essa razão, os indivíduos de uma mesma população são geneticamente diferentes uns dos outros (veja o esquema ao lado).

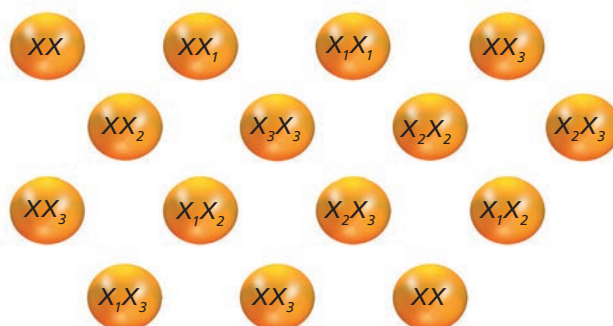
Considerando uma mesma espécie, o conjunto gênico também varia de uma população para outra, o que explica, do ponto de vista genético, as diferenças por vezes marcantes entre populações. Quanto maior for o conjunto gênico de uma população, maior será a variabilidade genética observada nela.

O conjunto gênico está exposto a diversos fatores, conhecidos como **fatores evolutivos**, que alteram a frequência de certos alelos na população, bem como a frequência de todo o conjunto gênico. Em consequência, ocorre uma alteração estatística do perfil da população ao longo do tempo.

Vamos analisar um exemplo hipotético: para uma espécie de mariposa, existem dois alelos que determinam o padrão de cor do corpo e das asas. Um alelo condiciona o caráter “cor clara” do corpo e das asas, enquanto o outro determina “cor escura”. Uma mariposa pode conter em seu genótipo dois alelos iguais, sendo homozigótica para esse gene, ou um alelo de cada tipo, sendo heterozigótica.

Antes de prosseguir na leitura, faça a atividade do box *Pense e responda* abaixo.

### Conjunto gênico de uma população hipotética representando 4 alelos: $X, X_1, X_2$ e $X_3$



Luis Moura/Arquivo da editora



### PENSE E RESPONDA

Considere a situação seguinte: as mariposas mencionadas no texto acima formam uma população na qual predomina o alelo que determina cor clara do corpo. Assim, a maioria dos indivíduos apresenta o fenótipo claro. A região habitada por essa população sofre alterações ambientais devido à atividade de indústrias instaladas ali perto, e os troncos das árvores, onde pousam as mariposas, tornam-se escuros. Os pássaros, predadores das mariposas, passam a se alimentar preferencialmente de mariposas claras. Por quê? E o que acontecerá com as frequências dos alelos para cor clara e para cor escura, nessa população?

O alelo que determina cor clara do corpo terá sua frequência reduzida na população, enquanto o alelo que determina a cor escura terá frequência aumentada. Isso porque as mariposas claras sofreriam maior pressão de predação a partir do escurecimento dos troncos.

## Genótipos em uma população (dados hipotéticos)



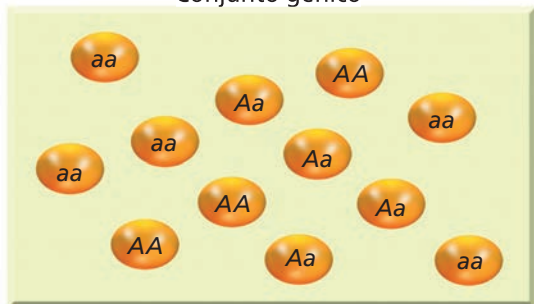
Mariposa escura  
(aa)



Mariposa clara  
(AA ou Aa)



Conjunto gênico



Esquema de **mariposas de uma população** mostrando os fenótipos quanto à cor da asa e do corpo, e o conjunto gênico da população. Os dados são hipotéticos.

Se a frequência de determinados alelos se modifica em uma população ao longo do tempo, a frequência dos fenótipos apresentados pelos indivíduos também será alterada nas gerações descendentes.

No exemplo hipotético da população de mariposas, a alteração no ambiente, provocada pelo lançamento de fumaça das indústrias, favorecerá a seleção dos indivíduos de cor escura que, camuflados nos troncos escuros, passarão a ter maiores chances de sobrevivência e reprodução. A seleção natural seria um fator evolutivo, alterando as frequências dos alelos: a frequência do alelo que condiciona a cor clara, nesse conjunto gênico, certamente diminuiria, enquanto a frequência do alelo que condiciona a cor escura aumentaria na população.

Dentre os principais fatores evolutivos, vamos considerar os seguintes: mutação gênica, recombinação gênica e migração, além da seleção natural.

## 2.1 Mutação gênica

As **mutações gênicas** são alterações aleatórias que ocorrem nos alelos, que podem condicionar características diferentes das originais.

Durante a duplicação da molécula de DNA, nucleotídeos podem ser substituídos, eliminados ou inseridos na sequência original. Quando uma alteração na sequência de nucleotídeos acontece na região do DNA que corresponde a um determinado alelo, o resultado pode ser a formação de uma proteína diferente daquela codificada pelo alelo normal.

Vamos considerar que a consequência de uma mutação gênica em um determinado alelo seja a síntese de uma proteína diferente nas células que expressam o gene. Essa alteração pode: (a) ter efeito neutro, ou seja, não afetar a sobrevivência do organismo portador da mutação; (b) trazer alguma vantagem para o organismo; ou (c) prejudicar sua sobrevivência. Se o organismo sobreviver e gerar descendentes, o alelo mutante pode permanecer na população.

É importante lembrar que as mutações ocorrem tanto no material genético de células somáticas quanto no material genético de células envolvidas na formação de gametas. Do ponto de vista evolutivo, são consideradas apenas as mutações que ocorrem nos gametas, pois são estes que transmitem as características hereditárias.

As mutações gênicas aumentam o conjunto gênico da população, pois elas criam variações em um determinado loco gênico. Por isso, as mutações e a recombinação gênica (que veremos a seguir) são consideradas as fontes primárias de variabilidade genética.



### RECORDE-SE

#### Mutações gênicas

Relembre o que são mutações gênicas e suas possíveis consequências no capítulo 10 deste volume.



### ATENÇÃO

Estamos considerando como exemplo uma mutação em um alelo de um loco gênico, que codifica a síntese de uma única proteína. No entanto, como vimos na unidade 2, existem relações mais complexas entre alelos e proteínas, como os casos em que mais de um gene participa da síntese de uma única proteína (interação gênica) ou aqueles em que um único gene condiciona proteínas relacionadas a mais de uma característica (pleiotropia).

Mutações gênicas podem ocorrer em regiões não codificadoras do DNA. Entre as que atingem locos gênicos, a maioria tem efeito neutro ou não provoca alterações perceptíveis no fenótipo. Assim, acredita-se que o aumento do conjunto gênico de uma população seja resultado principalmente de pequenas mutações gênicas que vão se acumulando ao longo das gerações.

A maioria dessas modificações ocorre espontaneamente, sendo difícil prever se um alelo sofrerá mutação e qual será o efeito dessa alteração. Os cientistas, no entanto, até conseguem calcular, para alguns genes que ocorrem em diversas espécies, a taxa de mutação espontânea, ou seja, a velocidade com que as mutações surgem e se estabelecem no genoma. O termo “velocidade” aqui significa a quantidade de mutações que surgem e se fixam no genoma de indivíduos em um intervalo de tempo.

Veja no Manual  
comentário a respeito  
da taxa de mutação.

## 2.2 Recombinação gênica

A **recombinação gênica** caracteriza-se por uma reorganização dos genes já existentes. Ela ocorre em função da **reprodução sexuada**, na produção de células reprodutivas por meiose. Na formação dos gametas, os cromossomos segregam-se independentemente, o que resulta gametas diferentes.

Não podemos nos esquecer de que, na formação dos gametas por meiose, pode ocorrer também permutação entre cromossomos homólogos, aumentando a variabilidade de informações genéticas que um gameta pode conter.

A variabilidade genética resultante da recombinação é maior quando há fecundação cruzada do que quando ocorre autofecundação, o que é importante para a preservação e evolução das espécies. Até mesmo algumas espécies com indivíduos hermafroditas têm mecanismos para evitar a autofecundação. As minhocas, por exemplo, são hermafroditas, mas se reproduzem por fecundação cruzada: são necessários dois indivíduos, que realizam uma cópula dupla, trocando gametas masculinos entre si.

Em plantas, é bastante comum o fenômeno da dicogamia: as estruturas masculinas e femininas das flores de angiospermas monoicas amadurecem em épocas diferentes, evitando assim a autopolinização.

É importante considerar que um novo genótipo, formado por recombinação ou por mutação, surge aleatoriamente, não havendo qualquer tendência de ele surgir para resultar em melhor adaptação do organismo.

## 2.3 Migração

Você sabe que duas populações da mesma espécie, separadas geograficamente, possuem conjuntos gênicos diferentes. Assim, quando indivíduos de uma população migram para outra e ali se reproduzem, pode ocorrer o aumento do número de alelos do conjunto gênico da população para onde foram. Esse “fluxo” de alelos de uma população a outra é chamado **fluxo gênico** e depende da **migração** de indivíduos entre populações.

Dentro de certos limites, podemos dizer que o número de genes introduzidos no conjunto gênico de uma população será tanto maior quanto maior for o número de imigrantes que ela receber. Além disso, é importante considerar também a possibilidade de alteração da frequência gênica, não só na população que recebeu os migrantes, mas também naquela de onde eles vieram.



### PENSE E RESPONDA

Consultando o glossário etimológico, reveja os significados de **monoico** e **dioico**. Escreva-os em seu caderno.

**Monoico:** uma (*mono*) casa (*oikos*). Refere-se às espécies de plantas que possuem flores hermafroditas ou flores masculinas e femininas na mesma planta. **Dioico:** duas (*di*) casas. Refere-se às plantas que possuem flores masculinas e femininas em indivíduos diferentes.



Glow Images

^ **População de gnus**, mamíferos da savana africana. A migração de indivíduos altera o conjunto gênico de uma população.



## 2.4 Seleção natural Veja comentários no Manual a respeito do conceito de seleção natural.



### ATENÇÃO

Não podemos analisar apenas uma característica isoladamente, nem ter um olhar enviesado sobre o processo evolutivo, atribuindo sentimentos humanos (“bom”, “ruim”, “bonito”, “feio”, “servir para alguma coisa”) às adaptações que observamos nos seres vivos, resultado da seleção natural.

A **seleção natural** atua sobre a variabilidade genética de uma população, que pode resultar de mutações, migração (fluxo gênico) e recombinação gênica. Variabilidade genética representa variabilidade de características fenotípicas. Isso significa que os indivíduos que possuem fenótipo favorável às condições do meio têm maiores chances de sobrevivência e de sucesso reprodutivo.

Como nem todos os fenótipos presentes em uma população são selecionados positivamente, ou seja, nem todos os indivíduos sobrevivem, a seleção natural provoca uma diminuição no conjunto gênico de uma população. Assim, teoricamente, quanto mais intenso for o processo de seleção natural em uma população, tanto menor será sua variabilidade genética.

A **seleção natural** é um processo permanente em todas as populações. Uma população interfere na sobrevivência da outra, assim constituindo o que chamamos de equilíbrio ecológico. E da mesma forma como o ambiente interfere na sobrevivência dos organismos, esses também alteram o ambiente com suas atividades.

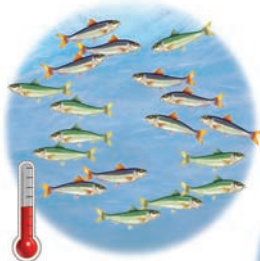
O termo “seleção” pode nos trazer intuitivamente a ideia de que esse é um processo no qual “os melhores vencem”, ou que certas características são sempre vantajosas e por isso são selecionadas. Na natureza, as modificações ambientais são imprevisíveis e a seleção de características, portanto, também. O próprio Charles Darwin foi muito cuidadoso ao relacionar evolução com mudança – “descendência com modificação” – e não com melhoramento ou progresso, pois essa intenção não existe na seleção natural.

Na espécie humana, por exemplo, existem genes aparentemente “desvantajosos”, como um gene inativo que impede a síntese de vitamina C (ácido ascórbico) por nossas células. Em outros mamíferos, esse gene está presente na sua forma ativa e esses animais não dependem diretamente da alimentação para obter vitamina C. Como essa característica aparentemente “negativa” – incapacidade de produzir vitamina C – foi selecionada na evolução da espécie humana?

Provavelmente, os indivíduos ancestrais portadores desse gene inativo não tinham problemas relacionados à deficiência de vitamina C, pois a ingestão diária de frutas e verduras supre as necessidades desse nutriente. Assim, outras características talvez tenham sido determinantes na sobrevivência e no sucesso reprodutivo desses indivíduos e o gene inativo, por acaso, acabou sendo transmitido às gerações seguintes.

Veja na figura a seguir um resumo das condições necessárias para a ocorrência de seleção natural.

### A evolução de uma população por seleção natural



1 Pela reprodução, surge grande número de indivíduos, com variabilidade de características.



2 Nem todos chegam à idade reprodutiva.



3 Uma mudança no ambiente (ex.: temperatura) afeta a sobrevivência de alguns indivíduos.



4 Algumas gerações depois, a variabilidade na população é diferente da original.



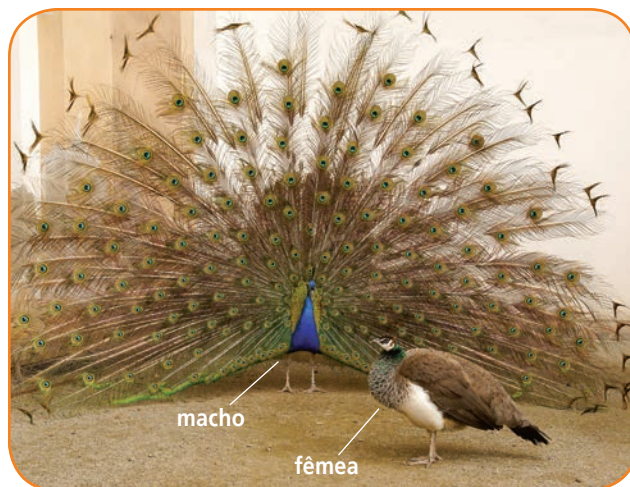
## Seleção sexual

Na teoria evolutiva, os biólogos utilizam o termo “aptidão” para se referir às condições de um indivíduo em deixar descendentes, considerando suas características e suas chances de sobreviver e se reproduzir. Conforme comentamos no capítulo anterior, o indivíduo mais apto não é necessariamente o mais forte, o mais veloz ou algo equivalente.

Na seleção natural, alguns genótipos permanecem no conjunto gênico de uma população, pois garantem maior aptidão aos indivíduos que os possuem. Quando esses genótipos estão relacionados à capacidade reprodutiva (encontrar parceiros, ter comportamentos competitivos em relação às fêmeas etc.), o processo recebe o nome de **seleção sexual**.

Por seleção sexual, são favorecidos alguns indivíduos em relação aos membros do mesmo sexo e espécie. Charles Darwin utilizou a teoria da seleção sexual para explicar a existência de algumas características em machos ou em fêmeas de certas espécies, sem uma aparente função na sobrevivência. O exemplo utilizado por ele foi o do pavão. A cauda chamativa e pesada do pavão macho o torna lento em sua locomoção, mas as fêmeas da espécie são atraídas pelas penas longas, coloridas e brilhantes. Assim, ao longo da evolução da espécie, machos com caudas grandes e chamativas foram positivamente selecionados pela escolha das fêmeas, segundo propôs Darwin.

O conceito de seleção natural e o exemplo do pavão, mencionado por Darwin, estão baseados na obra usada como referência: RIDLEY, M. *Evolução*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.

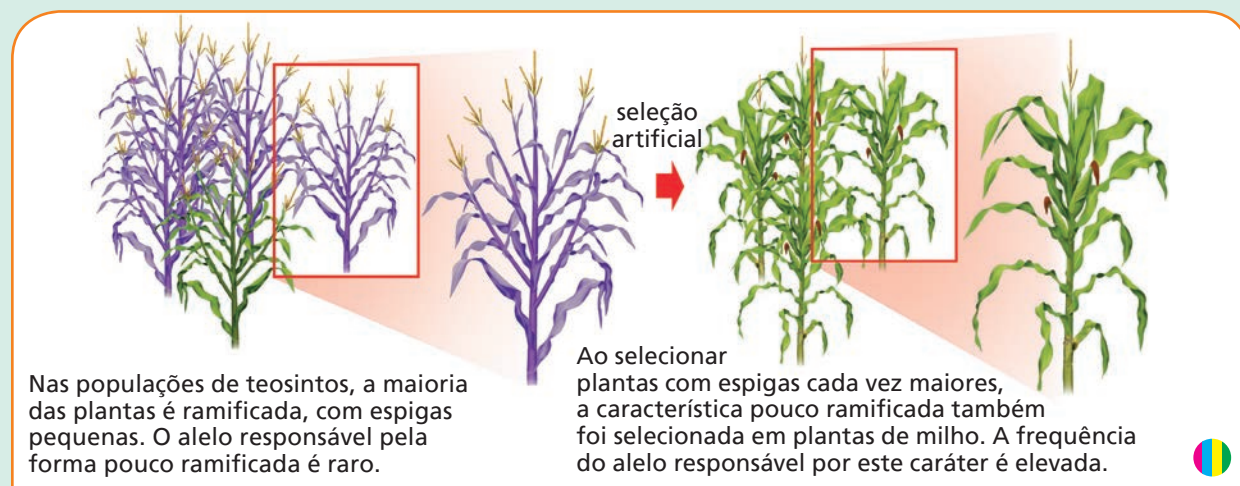


Alexey Repka/Dreamstime

^ A cauda do pavão macho e seu comportamento ao cortejar uma fêmea são características fixadas na espécie por **seleção sexual**. O corpo dessa ave mede cerca de 80 cm de comprimento.

## Seleção artificial

Ao longo dos anos em que Charles Darwin reuniu evidências sustentando a ideia de evolução por seleção natural, ele analisou resultados de **seleção artificial**, por meio da qual o ser humano escolhe determinada característica (ou conjunto de características) em organismos de uma espécie e promove cruzamentos com o objetivo de selecionar os descendentes que possuem os aspectos desejados. A seleção artificial originou as variedades de animais domésticos e de plantas utilizadas na agricultura. Por meio dela, alterou-se o conjunto gênico de determinadas espécies e, em alguns casos, resultou no surgimento de novas espécies. Veja no esquema abaixo o caso do milho, destacando a seleção de uma entre várias características selecionadas.



Oswaldo Sequetim/Arquivo da editora

^ Esquema indicando o resultado da **seleção artificial que originou o milho** a partir do teosinto. Pela seleção das sementes que produziam plantas pouco ramificadas, com espigas maiores e grãos mais macios e saborosos, o ser humano alterou o fenótipo e o genótipo em relação ao grupo ancestral.

Veja no Manual mais informações a respeito da origem do milho.



## PENSE E RESPONDA

Em seu caderno, explique:

- Qual é a relação entre um desastre ecológico de grandes proporções e o processo de deriva genética?
- Qual é o sentido da afirmação: “nem tudo na natureza é adaptação”?

a) A sobrevivência a um desastre ecológico ocorre ao acaso, o que pode resultar na sobrevivência de indivíduos ou populações, sem relação com seleção de caracteres.

b) Existem casos de evolução que são explicados pela deriva genética.

Veja no Manual comentários a respeito da deriva genética.



## MULTIMÍDIA

**Ciência Hoje na Escola vol. 9 – Evolução**  
Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência,  
Ed. Global, 2001.

Neste livro você vai encontrar artigos escritos por biólogos a respeito dos fatores envolvidos na teoria da evolução: o que é adaptação, taxas de mutação gênica, a viagem de Darwin e outros.



Divulgação

## 2.5 Deriva genética

A **deriva genética** ocorre quando uma situação do acaso determina, aleatoriamente, a sobrevivência de alguns indivíduos de uma população, que passarão suas características hereditárias aos descendentes. Ao contrário do processo de seleção natural, esses indivíduos sobrevivem por acaso e não como resultado das adaptações. Geralmente, são desastres ecológicos que levam à deriva genética, como erupções vulcânicas, incêndios ou grandes inundações.

Vamos considerar um exemplo hipotético: um incêndio de grandes proporções atinge a mata onde vive uma pequena população de macacos. Todos morrem, com exceção de um casal que, no momento do incêndio, estava no lago, protegido das chamas. O casal sobrevivente produz prole com problemas visuais, condição hereditária que, antes, era muito rara na população. Após o incêndio, no entanto, praticamente toda a população passou a apresentar essa característica, resultado do processo de deriva genética.

O exemplo hipotético mostra que estudar a evolução de uma espécie não é simples. Nem todas as características predominantes em uma população podem ser interpretadas como adaptações e outros fatores, além da seleção natural, estão envolvidos na história evolutiva dos seres vivos.

## 3 Genética de populações

A genética de populações é parte fundamental da teoria sintética da evolução, pois analisa matematicamente as mudanças no conjunto gênico de uma população ao longo das gerações.

Voltemos ao nosso exemplo hipotético da população de mariposas, antes da alteração no seu *habitat* devido à poluição. Considere que, de 500 indivíduos analisados, 480 apresentavam corpo claro e apenas 20 apresentavam corpo escuro.

Vamos considerar, hipoteticamente, que o caráter cor do corpo seja determinado por um par de alelos, com relação de dominância completa entre eles. O alelo dominante condiciona a cor clara e o alelo recessivo, a cor escura do corpo.

A frequência (F) do genótipo AA é uma relação do número de indivíduos com esse genótipo pelo número total de mariposas dessa população hipotética. O mesmo procedimento é realizado para os outros genótipos. Assim:

$$F(AA) = \frac{320}{500} = 0,64$$

$$F(Aa) = \frac{160}{500} = 0,32$$

$$F(aa) = \frac{20}{500} = 0,04$$

Como você pode perceber, a soma das frequências dos três genótipos possíveis deve ser igual a 1.

E quanto à frequência gênica, ou seja, às frequências dos alelos A e a? Cada mariposa possui dois alelos em seu genótipo, pois são organismos diploides.

Fenótipos	Genótipos	Nº de indivíduos
Cor clara	AA	320
Cor clara	Aa	160
Cor escura	aa	20



Assim, em 500 indivíduos observam-se 1 000 alelos que determinam a cor do corpo da mariposa.

Para obtermos a frequência do alelo *A*, temos de considerar os 320 indivíduos de genótipo *AA* e os 160 indivíduos heterozigóticos, que possuem o alelo *A* em dose simples. O mesmo raciocínio é empregado para o cálculo da frequência do alelo *a*.

$$F(\text{alelo } A) = \frac{(320 \times 2) + (160 \times 1)}{1000} = \frac{640 + 160}{1000} = \frac{800}{1000} = 0,8$$

$$F(\text{alelo } a) = \frac{(20 \times 2) + (160 \times 1)}{1000} = \frac{40 + 160}{1000} = \frac{200}{1000} = 0,2$$

Representando a frequência do alelo *A* por *p* e a frequência do outro alelo, *a*, por *q*, temos, para essa população:

$$\begin{array}{l} p = 0,8 \\ q = 0,2 \end{array} \quad p + q = 1$$

Essas são as frequências gênicas obtidas para uma geração de mariposas. Qual será a frequência genotípica dos descendentes, considerando cruzamentos ao acaso entre as mariposas dessa população?

Para isso, utiliza-se uma fórmula desenvolvida pelos cientistas Hardy e Weinberg, em 1908, que relaciona a frequência dos alelos de um gene em uma população para o cálculo de genótipos nas próximas gerações:

$$p^2 + 2pq + q^2 = 1$$

No nosso exemplo, a formação de mariposas de genótipo *AA* depende da união de dois gametas que possuam o alelo *A*, cuja frequência na população é 0,8 (*p*). Então, podemos multiplicar:  $0,8 \times 0,8$ , obtendo a frequência do genótipo *AA* para a próxima geração: 0,64 ( $p^2$ ).

O genótipo *aa* na próxima geração dependerá da união de dois gametas com o alelo *a*, cuja frequência na população é 0,2 (*q*). Então, deve-se multiplicar:  $0,2 \times 0,2$ , obtendo a frequência de 0,04 ( $q^2$ ) para o genótipo *aa* na próxima geração.

Observe que essas frequências gênicas são semelhantes às primeiras que calculamos, a partir do número inicial de indivíduos da população hipotética de mariposas. Isso significa que nessa população não há alteração nas frequências dos alelos de seu conjunto gênico entre gerações, observando-se um equilíbrio genético ao longo do tempo, ou seja, não está ocorrendo evolução.

Foi esse o conceito que os cientistas Hardy e Weinberg propuseram:

“Em uma população infinitamente grande e em equilíbrio genético, na qual os cruzamentos ocorrem totalmente ao acaso, as frequências gênicas e genotípicas permanecem constantes ao longo das gerações.”

Na natureza, as populações não são infinitamente grandes e os cruzamentos podem não ocorrer ao acaso, o que pode ser facilmente observado entre os animais, em que certas características sexuais atraem determinados parceiros para o cruzamento. Além disso, todas as populações na natureza sofrem a ação de fatores evolutivos.

Então, para que serve o princípio de Hardy-Weinberg? Comparando as frequências obtidas pela equação que vimos acima com as frequências reais de alelos observadas em uma população, os cientistas podem inferir se, naquele momento, ela está em equilíbrio genético.



SUGESTÃO  
DE ATIVIDADE



CURIOSIDADE

Por que certos alelos são mantidos em uma população, considerando a herança genética e a evolução? Em janeiro de 1908, o médico Wilhelm Weinberg, que se dedicava ao estudo de genealogias humanas, publicou um artigo em uma revista científica alemã no qual expunha o princípio do equilíbrio genético elaborado por ele. Godfrey Harold Hardy foi um matemático britânico, amigo do geneticista Reginald Punnett, que o apresentou a questão. Hardy então chegou ao mesmo princípio descrito por Weinberg, publicando-o em uma revista científica, em julho de 1908. Anos depois, foi reconhecido que Weinberg e Hardy chegaram à mesma conclusão de modo independente.

Haroldo Palo Jr/Kino



^ **Égua**, a fêmea do cavalo (*Equus caballus*).

Fabio Colombini/Acervo do fotógrafo



✓ **Jumento**, também conhecido como asno ou jegue (*Equus asinus*).

## 4 Especiação

O processo em que populações de uma mesma espécie acumulam diferenças em seu conjunto gênico, originando espécies distintas, é conhecido por **especiação**.

Você já sabe que mutações gênicas, mutações cromossômicas e recombinação gênica são processos que ocorrem ao acaso e podem modificar certos alelos e certas características de indivíduos de uma população. Por seleção natural, as condições vantajosas tendem a ser mantidas. Assim, duas populações, cada uma ocupando um local distinto, poderão apresentar variações genéticas distintas.

Se essas duas populações entrarem em contato e não houver mais possibilidade de cruzamento com a formação de descendentes férteis, podemos dizer que cada população pertence, agora, a espécies diferentes e não mais à mesma espécie. O **isolamento reprodutivo** é uma evidência de que ocorreu especiação.

Se, porém, não foi estabelecido o isolamento reprodutivo entre os indivíduos dessas duas populações, então elas pertencem à mesma espécie.

Entre os animais, é bem conhecido o exemplo do híbrido resultante do cruzamento entre indivíduos das espécies *Equus caballus* (cavalo e égua) e *Equus asinus* (jumento e jumenta). O animal resultante desse cruzamento, conhecido popularmente por mula (quando fêmea) e por burro (quando macho), possui número cromossômico intermediário ao de seus parentais e torna-se um adulto saudável, porém estéril.

✓ **Burro** (*E. caballus* × *E. asinus*).



Maurício Simonetti/Pulsar Imagens

A espécie *Equus caballus* possui 64 cromossomos, enquanto *E. asinus* possui 62 cromossomos. O híbrido (burro ou mula) possui 63 cromossomos, sendo este número ímpar relacionado à sua esterilidade.



O isolamento reprodutivo pode ocorrer em diferentes níveis, desde a incompatibilidade entre gametas, sem a formação de embriões, até a formação de descendentes híbridos, mas que são estéreis. O maracujazeiro é um exemplo de planta que possui mecanismo de isolamento reprodutivo.

O isolamento reprodutivo pode ocorrer em diversos níveis da reprodução. Veja mais comentários no Manual.



Gilbert S. Grant/Getty Images



Eye of Science/SP/Latinstock

Todo esse raciocínio baseia-se no **conceito biológico de espécie**: grupo de organismos que, potencialmente, podem gerar descendentes férteis. Se dois indivíduos de populações diferentes não são capazes de gerar descendentes férteis, é um indício de que existem diferenças genéticas significativas entre eles e que pertencem a espécies distintas.

Esse conceito tem sido criticado atualmente. Ele não se aplica aos fósseis, por exemplo, pois não há como testar a reprodução, afinal, são seres extintos. Além disso, não se aplica para organismos que apresentam apenas reprodução assexuada, como moneras e muitos protistas. Assim, outros conceitos têm sido propostos, mas ainda não há consenso entre os cientistas no sentido de considerar qual o melhor.

Um desses outros conceitos, e que é bem-aceito, considera **espécie** o conjunto de populações que compartilham características que são exclusivas delas. Essas características são chamadas derivadas, pois resultam de um processo evolutivo que leva à modificação de características primitivas, presentes no ancestral.

A partir dos estudos em evolução foi possível elaborar um **conceito filogenético de espécie**, que difere do conceito biológico, e permite contemplar não apenas as espécies atuais com reprodução sexuada, mas também os organismos atuais que apresentam apenas reprodução assexuada e os organismos fósseis – para os quais nunca saberemos se havia reprodução com geração de descendentes férteis. Esse conceito pode ser assim resumido:

### CONCEITO FILOGENÉTICO DE ESPÉCIE

Uma espécie é formada por populações de indivíduos que compartilham condições derivadas.

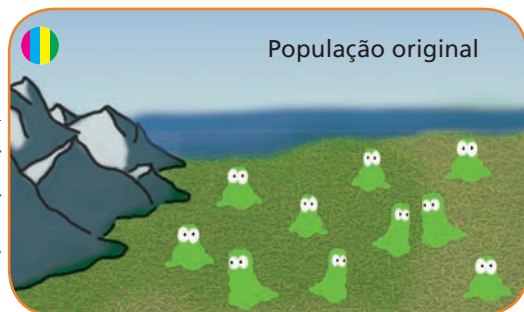
Essa diferenciação de características que resulta na formação de uma ou mais espécies ocorre pelo processo de especiação.

A especiação, ou seja, a origem de novas espécies, é resultante de processos evolutivos, que ocorrem basicamente por **anagênese** e **cladogênese**:

- › **anagênese** compreende processos pelos quais uma característica surge ou se modifica em uma população ao longo do tempo. São exemplos

^ Flor e grão de pólen da espécie *Passiflora edulis*. Entre as plantas com flores (angiospermas) existe um mecanismo de **isolamento reprodutivo** que impede o desenvolvimento de tubo polínico no estigma da flor, se o pólen não for de uma planta da mesma espécie. Esse mecanismo é observado em diversas espécies de maracujazeiros, nas quais a fecundação cruzada é obrigatória.





↓ cladogênese



↓ anagênese



Esquema ilustrando, de forma simplificada, o processo de especiação a partir de uma população fictícia, por **isolamento geográfico**.

de eventos anagenéticos a fixação nas populações, por seleção natural, de características surgidas por mutação e a recombinação gênica;

► **cladogênese** compreende processos responsáveis pela separação ou isolamento de uma população inicial em duas ou mais populações.

O isolamento de populações pode ser consequência do surgimento de uma barreira geográfica. Certamente esse processo ocorreu muitas vezes na história da Terra, com o surgimento de montanhas, vales ou rios. Mais recentemente, populações também podem ser separadas pela construção de represas e barragens, pelo desmatamento e fragmentação de florestas e até pela construção de estradas.

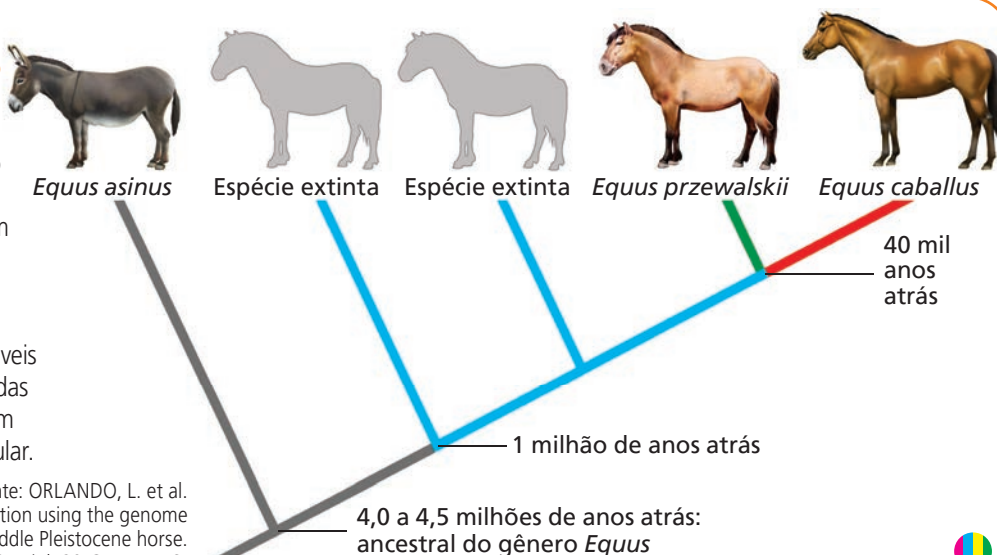
O isolamento geográfico garante que não ocorrerá fluxo gênico entre as populações separadas, permitindo o acúmulo de diferenças genéticas entre elas ao longo do tempo. Garante também que a seleção natural pode favorecer fenótipos diferentes em cada região caso elas apresentem condições ambientais diferentes.

O esquema ao lado mostra, de forma simplificada, o processo de especiação a partir do isolamento geográfico de duas subpopulações fictícias.

A separação de um grupo ancestral em dois novos grupos é representada nos cladogramas, que mostram as relações de parentesco evolutivo entre táxons. Vamos considerar, como exemplo, a evolução do gênero *Equus*, ao qual pertencem o cavalo e o jumento. Pela análise comparativa de fósseis e de sequências do DNA, cientistas elaboraram um cladograma e determinaram a provável época em que surgiram esses animais, na região onde hoje é a América do Norte. Veja a representação dessa hipótese evolutiva no cladograma a seguir.

#### ► Hipótese de parentesco evolutivo

entre cinco espécies do gênero *Equus*, duas delas extintas. O cavalo de Przewalskii é a última espécie selvagem da atualidade e suas populações vivem na Mongólia. As datas correspondem às prováveis épocas de surgimento das espécies, calculadas com base em análise molecular.



Fonte: ORLANDO, L. et al.  
Recalibrating *Equus* evolution using the genome sequence of an early Middle Pleistocene horse.  
*Nature* n. 499, 4 jul. 2013, p. 74-78.





## Linguagem finalista

Quando nos referimos ao fenômeno da adaptação, identificando, por exemplo, a relação entre forma e função de uma estrutura biológica, precisamos tomar muito cuidado com a linguagem finalista.

A seleção natural resultou, por exemplo, na forma tão comum e conhecida da maioria das folhas de angiospermas: achatada, de pouca espessura. Ela é, sem dúvida, favorável à recepção de luz, à transpiração e à ocorrência de trocas gasosas com o ambiente. No entanto, cuidado: as folhas não ficaram com essa forma “para” exercer essas funções; não podemos atribuir intenções às folhas ou ao processo evolutivo. Elas são assim porque foram selecionadas positivamente pelas condições da natureza: em meio a tantas possíveis formas e tamanhos de folhas, permaneceram as

que estavam mais adaptadas. Em regiões de inverno rigoroso ou de radiação solar muito intensa durante o dia (regiões muito quentes e secas), a maioria das plantas possui folhas alongadas, em forma de espinhos, pois nessas condições uma ampla superfície achatada seria desvantajosa.

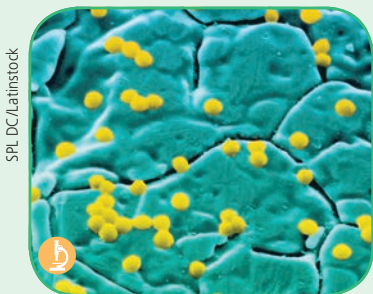
A natureza não cria formas para depois escolher entre elas; ela escolhe entre as formas existentes, que surgem pelos diversos mecanismos evolutivos.

Assim também é com as mutações gênicas: elas não ocorrem para adaptar os indivíduos ao ambiente; ocorrem ao acaso, podendo gerar características diversas. Sobre essas características atua a seleção natural: aquelas que favorecem a adaptação do indivíduo ao meio ambiente tendem a ser mantidas e as que forem desvantajosas para os indivíduos tendem a ser eliminadas.

## O que é o “meio”?

Diversas vezes nos referimos ao “meio” ou ao “ambiente”, que interage com os seres vivos. Você deve associar mais frequentemente esses termos às paisagens que observamos na natureza, como uma floresta, um campo, uma lagoa, o oceano...

O que seria o “meio” para uma bactéria da flora intestinal humana? E para um carrapato que habita o dorso de um boi? E para os mosquitos que crescem na superfície de uma rocha?



### < Bactérias crescendo sobre placa de ferro.

Para essas bactérias, o “meio” seria a placa de ferro onde elas estão crescendo. Cada bactéria mede cerca de 2 µm de comprimento.

Utilizamos o termo “meio” para ambientes de várias dimensões. Os nutrientes e gases que chegam ao embrião em desenvolvimento no útero materno, por exemplo, são componentes do meio no qual o embrião está crescendo. A presença de certas substâncias pode afetar o desenvolvimento do embrião, alterando seu fenótipo – é o caso de fetos cujas mães fumam ou consomem outras drogas durante a gestação. Assim, a afirmativa de

que o fenótipo resulta da interação do genótipo com o meio pode ter significado bem mais amplo do que imaginamos em um primeiro momento.

O biólogo norte-americano Richard Lewontin vai além na análise da relação entre seres vivos e ambiente, afirmando que não existe ambiente sem organismo. Lewontin argumenta que o ambiente não é uma entidade independente, ou apenas uma série de condições físicas – o ambiente também sofre transformações devido às atividades dos seres vivos.

Os organismos são transformadores de substâncias, absorvendo matéria e energia em uma forma e repassando-a em outra, que poderá ser consumida por outra espécie. Vejamos alguns exemplos: o gás carbônico eliminado pelos animais serve de matéria-prima para a fotossíntese das plantas; o excremento dos herbívoros sustenta insetos como moscas e besouros. Assim, os organismos são parte do ambiente e o modificam, além de serem modificados. As relações entre as espécies e o meio são complexas e, por isso, o processo evolutivo também deve ser muito mais dinâmico do que propõe o modelo darwinista, argumenta Lewontin.

Fonte:

LEWONTIN, R. *A tripla hélice: gene, organismo e ambiente*. São Paulo: Companhia das Letras, 2002.



## Evolução e biologia molecular do gene: o caso da evolução humana

A evolução da ciência nos últimos 150 anos, desde a publicação de *A Origem das Espécies*, permitiu comprovar e detalhar muitas das teorias propostas por Charles Darwin, mas ainda não conseguiu elucidar uma das questões mais inquietantes que derivam de sua obra: o que nos faz humanos? Se homens e chimpanzés pertencem a uma mesma família, como podem ser tão diferentes?

Parte da resposta é que não somos tão diferentes assim. Pesquisas genéticas realizadas nos últimos anos revelam que humanos e chimpanzés são ainda mais próximos do que Darwin poderia imaginar. Quando os genomas das duas espécies são colocados lado a lado, a sequência das letras de seu DNA é praticamente idêntica: quase 99% de semelhança. [...] Nem ratos e camundongos são tão parecidos (91% de similaridade). É a prova de que Darwin, mesmo sem saber nada de genética – porque não existia genética na sua época –, estava certo em pendurar o homem na árvore genealógica dos primatas.

Ao mesmo tempo que ajudam a responder, porém, as informações genômicas acrescentam um novo grau de complexidade à questão. Se homens e chimpanzés são quase idênticos geneticamente, como podem ser tão diferentes em sua anatomia, comportamento e capacidade cognitiva? O que há de tão especial no 1% que diferencia as duas espécies? Quais foram as mutações essenciais que permitiram ao *Homo sapiens* desenvolver a destreza e a inteligência necessárias para construir cidades, escrever livros e questionar a própria evolução?

A resposta completa parece estar pulverizada pelo genoma. A maioria dos cientistas já desistiu de encontrar um ou dois genes “mágicos” da natureza humana – algo como um “gene da

inteligência” ou um “gene do bipedalismo”. Todos os indícios são de que as características fundamentais da espécie humana – assim como as de outras espécies – decorrem não de um pequeno conjunto de grandes mutações, mas de um grande conjunto de pequenas mutações acumuladas ao longo dos últimos 6 milhões de anos, desde que as linhagens de seres humanos e chimpanzés divergiram de seu ancestral comum. [...]

Para complicar ainda mais a busca, a maioria das mutações não ocorre nos genes, mas fora deles, em regiões do genoma que não codificam proteínas. Isso sugere que muito da biologia que nos faz humanos pode fluir também dos 99% do genoma que são idênticos entre homem e chimpanzé, e não apenas do 1% que é diferente. [...]

Do ponto de vista morfológico, o que mais distingue o *Homo sapiens* dos outros primatas é a postura ereta e o cérebro grande. Só o tamanho avantajado do encéfalo, porém, não é suficiente para explicar a superioridade das habilidades cognitivas humanas. Se fosse, as baleias e os elefantes seriam os animais mais inteligentes da Terra. [...]

“A única característica óbvia, bem estudada e consensual, que nos faz humanos é o bipedalismo. A inteligência é uma mera diferença quantitativa, não qualitativa”, opina o biólogo Fabrício Santos, da Universidade Federal de Minas Gerais, especialista em genética evolutiva. E completa: “A genômica veio mais uma vez colocar o homem no seu devido lugar na biodiversidade, como uma espécie qualquer, sem nada muito especial – ou melhor, tão especial quanto qualquer outra espécie”.

ESCOBAR, H. Darwin – 150 anos depois. *O Estado de S. Paulo*, 22 nov. 2009, p. A24.

### DEPOIS DA LEITURA...

- Explique qual é o significado da frase: “[Darwin] estava certo em pendurar o homem na árvore genealógica dos primatas”.
- A evolução é uma característica dos seres vivos. Escolha um trecho do texto que corrobore essa afirmação e justifique sua escolha.

a) Os seres humanos pertencem à ordem dos primatas. Existem diversas evidências científicas sustentando esta classificação.

b) O texto menciona as diferenças e semelhanças no DNA de chimpanzés e seres humanos, uma evidência de que derivam de um grupo ancestral de parentesco evolutivo próximo. Outro trecho é o que afirma que a espécie humana é tão especial quanto qualquer outra.



1. Os trabalhos de ambos serviram de fundamento para a teoria sintética da evolução. Os mecanismos de herança genética explicam como surge a variabilidade fenotípica em uma população, sujeita à seleção natural.

## Revendo e aplicando conceitos

- Quando Darwin desenvolveu a teoria da seleção natural ainda não existiam elementos para explicar as causas das variações observadas e descritas por ele. Você sabe que essas informações foram se tornando disponíveis à medida que os estudos de Mendel sobre hereditariedade foram se tornando conhecidos, dando origem à Genética.

De que forma os trabalhos de Darwin e de Mendel, realizados de modo independente, se complementam?

- Imagine a seguinte situação: uma população de aranhas é separada geograficamente pela construção de uma rodovia. Algumas décadas depois, cientistas comparam indivíduos coletados de lados opostos da rodovia e constatam que existem algumas diferenças no padrão de cores. Além disso, indivíduos das duas populações realizam acasalamento, mas não surgem descendentes.

2. Trata-se de um exemplo de especiação por isolamento geográfico. Veja comentários no Manual.

Explique os processos evolutivos que modificam a população original de aranhas, baseando-se no que vimos neste capítulo a respeito de especiação.

- Uma população hipotética, em equilíbrio genético, formada por 1000 indivíduos, apresenta frequência do alelo dominante  $D$  de 0,6.

3. Consulte o Manual para os cálculos e a justificativa.

- Qual é a frequência do alelo recessivo  $d$ ? Apresente seus cálculos ou raciocínio. 3. a) 0,4.
  - Qual será a frequência de indivíduos homozigóticos recessivos na próxima geração? 3. b) 0,16.
  - Qual será a frequência de indivíduos heterozigóticos e homozigóticos dominantes? 3. c) 0,84.
  - O que significa dizer que a população está em equilíbrio genético? 3. d) Isso significa que a população não está em evolução.
- Em uma determinada população, a frequência de um alelo era 0,71. Após um longo período de alterações climáticas na região, a frequência desse mesmo alelo passou a ser 0,65. Como você explicaria essa alteração de acordo com a genética de populações? 4. A população está sofrendo ação de fatores evolutivos, pois houve alteração na frequência gênica.

- A respeito da migração, responda:

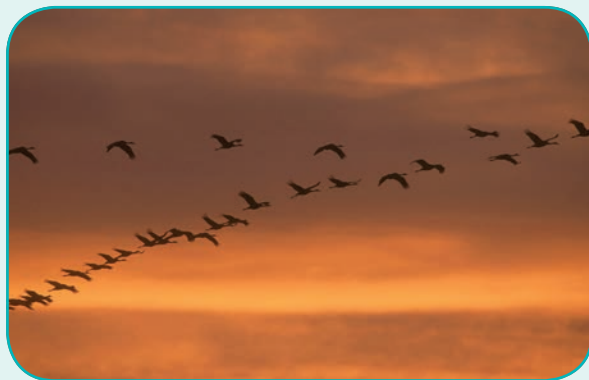
- Diferencie emigração de imigração; se necessário, consulte um dicionário.
- Qual seria a consequência da imigração de indivíduos, para o conjunto gênico de uma população?

- Leia o trecho de uma reportagem, publicada na revista *Ciência Hoje* (nov. de 2001):

5. a) Emigração: saída de indivíduos de uma população; imigração: chegada a uma nova população.

“Migrar através de voo não é tarefa fácil para aves, morcegos ou insetos. Por isso, esses animais desenvolveram mecanismos para economizar energia ao longo de suas jornadas – às vezes, de milhares de quilômetros. [...] Segundo os pesquisadores, para os machos o objetivo parece ser chegar ao destino antes dos concorrentes, para poder cruzar com o maior número de fêmeas.”

Comente a linguagem utilizada no artigo, considerando o que aprendemos sobre o processo de evolução por seleção natural. 6. A linguagem é finalista, podendo causar a impressão de que a evolução é processo intencional. Veja mais comentários no Manual.



Animals Animals/Grupo Keystone

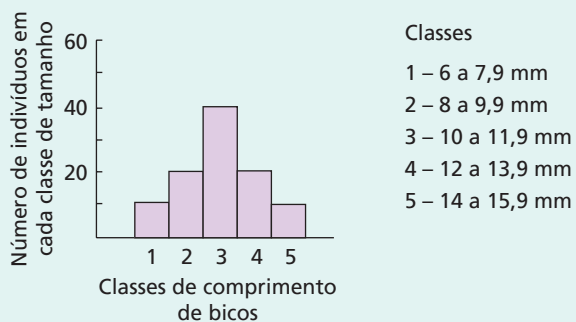
^ Aves migratórias.

## Trabalhando com gráficos

7. Gráfico C. Veja comentários no Manual.

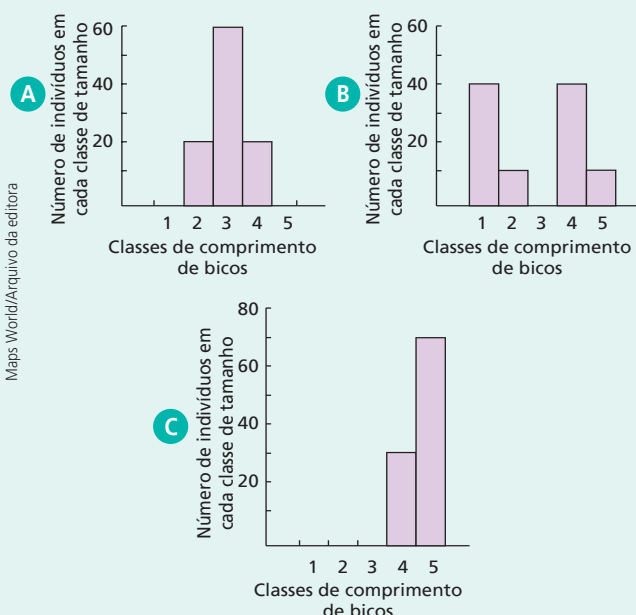
- (Adaptado de Unesp) Pesquisadores estudavam a população de uma espécie de ave, habitante de uma ilha, que se alimenta de sementes. Eles mediram o comprimento dos bicos de 100 indivíduos e consideraram que existe uma relação direta entre o tamanho dos bicos e o tamanho das sementes que as aves conseguem comer.

O gráfico esboçado a seguir representa a distribuição de frequência de indivíduos em cada classe de comprimento de bicos.



5. b) A migração determina o fluxo gênico, se houver cruzamento entre os migrantes e os indivíduos que já faziam parte da população. Assim, pode ocorrer aumento da variabilidade genética na população.

Após uma seca prolongada, a maioria das plantas da ilha que produziam sementes pequenas morreu, predominando na área plantas com sementes grandes. Sucessivas gerações de aves foram submetidas a essa condição. Qual dos três gráficos a seguir – **A**, **B** ou **C** – apresenta a tendência esperada para a distribuição de frequência de comprimento de bicos na população, após algumas gerações? Justifique sua resposta e explique qual é o fator evolutivo provavelmente envolvido nesta situação.



## Ciência, Tecnologia e Sociedade

### 8. Leia a seguir trechos de uma reportagem de jornal:

#### Bichos do zoo soltos em ilha se multiplicam. E não há jeito de parar

A ilha Anchieta, um dos parques estaduais mais populares de São Paulo, sofre atualmente com a superpopulação de animais.

Existem centenas de saguis, capivaras, quatis e cutias na ilha, de apenas 828 hectares. [...] Não há alimento e abrigo para todos os animais, que no inverno morrem de fome e em disputas por território. Os que sobrevivem impactam negativamente a vegetação e outros animais, como aves. Tampouco há predadores, como felinos, para manter o equilíbrio.

O exemplo mais claro do problema é o da cutia. Em 1983, foram soltos oito animais na ilha. O roedor, que se reproduz rapidamente, conta agora com cerca de 1 160 representantes. [...]

O sagui-do-tufo-preto, também chamado de mico-estrela, é outro animal cuja população cresceu em demasia: passou de 5 indivíduos para 654. Predador de ovos, ele ajudou a diminuir a variedade de aves em Anchieta de 120 espécies para 80. O quati, que foi de 13 para 149 indivíduos, ataca as aves que vivem no solo. Como resultado, sobraram apenas as aves que montam seus ninhos em galhos finos, onde os mamíferos predadores não alcançam. [...]

Os mamíferos foram introduzidos na ilha artificialmente em 1983, doados pelo Zoológico de São Paulo poucos anos depois de a ilha ser alçada a parque estadual. Antigamente ela abrigava um presídio, e os moradores extinguiram boa parte da mata e dos bichos que viviam lá.

[...]

A solução é tão complexa quanto o problema. Não é possível retirá-los [os animais] de lá, pois introduzi-los em outro lugar poderia reproduzir o mesmo desequilíbrio. A população que está na ilha, isolada, pode ter desenvolvido resistência ou suscetibilidade a determinada doença, característica que poderia minar outras populações.

No caso da cutia, o problema é maior. Duas espécies foram introduzidas, e elas cruzaram entre si [...] O manejo não pode ser feito pela caça, atividade proibida pela lei. Levar um felino para a ilha criaria outro problema, pois o predador pode comer tanto mamíferos quanto aves, já em desvantagem.

AMORIM, C. Bichos do zoo soltos em ilha se multiplicam. *O Estado de S. Paulo*, 11 maio 2006. Disponível em: <<http://www.bv.fapesp.br/namidia/noticia/6412/bichos-zoo-soltos-ilha-multiplicam/>>. Acesso em: fev. 2016.

Após a leitura do texto, responda às questões:

- As espécies de aves da ilha Anchieta estão sofrendo pressão seletiva. Explique de que forma a seleção natural está atuando nas populações dessas espécies.
- Explique, com base no que aprendeu sobre evolução, o que a autora do texto quis dizer no seguinte trecho: "A população que está na ilha, isolada, pode ter desenvolvido resistência ou suscetibilidade a determinada doença, característica que poderia minar outras populações".
- Escreva um breve texto a respeito da interferência de certas atividades humanas no fluxo gênico entre populações e no processo de seleção natural.

8. a) A pressão seletiva está relacionada à escassez de alimento e à ausência de predadores na área.

8. b) A característica surge por mutação gênica. Veja comentários no Manual.  
8. c) Resposta pessoal. Veja comentários no Manual.

## Questões do Enem e de vestibulares

9. (Unicamp-SP) Em um arquipélago oceânico, todas as ilhas são habitadas por aves de um mesmo gênero. Cada ilha possui uma única espécie deste gênero e as diferenças morfológicas principais entre elas são o tamanho e o formato do bico.

a. Qual foi a primeira etapa desse processo de especiação? 9. a) Barreira geográfica: separação das ilhas.

b. Que pressão seletiva deve ter determinado a presença de aves com bicos diferentes em diferentes ilhas? 9. b) A presença de aves com bicos diferentes em ilhas distintas deve se relacionar ao tipo de alimento disponível em cada ilha.

c. Qual seria o procedimento para confirmar que as aves encontradas nas diferentes ilhas são de fato espécies diferentes? 9. c) Sendo da mesma espécie, espera-se que surjam híbridos estéreis como descendentes do cruzamento.

10. (UFJF-MG) Cientistas descobriram que em dunas das duas margens do rio São Francisco, próximo ao povoado de Santo Inácio, Bahia, existem populações de lagartos parecidos, mas de espécies diferentes. Essas espécies-irmãs, *Tropidurus amathites* e *Tropidurus divaricatus*, apresentam pequenas diferenças físicas e genéticas.

Ciência Hoje On-line, 26/10/00.

Em relação à especiação, esta ocorre quando:

a. duas populações ocupam o mesmo nicho ecológico.

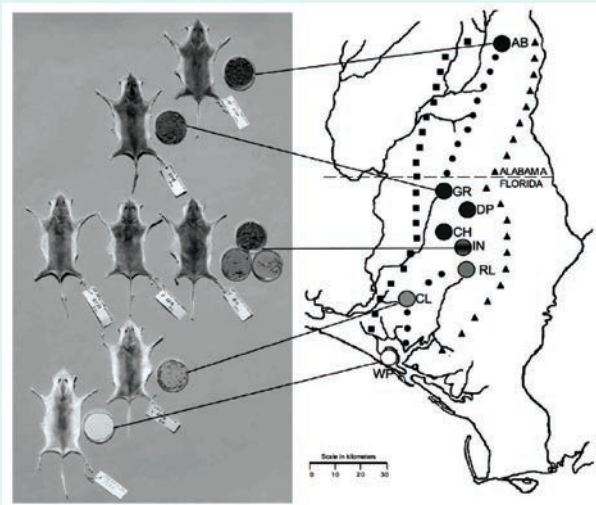
b. se estabelece isolamento reprodutivo entre duas populações. 10. b

c. há migração para a mesma área.

d. duas populações se submetem às mesmas pressões seletivas.

e. duas populações apresentam alto potencial biótico.

11. (Enem-2009) Os ratos *Peromyscus polionotus* encontram-se distribuídos em ampla região na América do Norte. A pelagem de ratos dessa espécie varia do marrom claro até o escuro, sendo que os ratos de uma mesma população têm coloração muito semelhante. Em geral, a coloração da pelagem também é muito parecida à cor do solo da região em que se encontram, que também apresenta a mesma variação de cor, distribuída ao longo de um gradiente sul-norte. Na figura, encontram-se representadas sete diferentes populações de *P. polionotus*. Cada população é representada pela pelagem do rato, por uma amostra de solo e por sua posição geográfica no mapa.



MULLEN, L. M.; H. E. Natural selection along an environmental gradient: a classic cline in mouse pigmentation. *Evolution*, 2008.

O mecanismo evolutivo envolvido na associação entre cores de pelagem e de substrato é:

a. a alimentação, pois pigmentos de terra são absorvidos e alteram a cor da pelagem dos roedores.

b. o fluxo gênico entre as diferentes populações, que mantém constante a grande diversidade interpopulacional.

c. a seleção natural, que, nesse caso, poderia ser entendida como a sobrevivência diferenciada de indivíduos com características distintas. 11. c

d. a mutação genética, que, em certos ambientes, como os de solo mais escuro, têm maior ocorrência e capacidade de alterar significativamente a cor da pelagem dos animais.

e. a herança de caracteres adquiridos, capacidade de organismos se adaptarem a diferentes ambientes e transmitirem suas características genéticas aos descendentes.

12. (UFSCar-SP) Evolução em ritmo acelerado – Pesquisadores do mundo animal têm chamado a atenção para um fenômeno curioso: há cada vez mais elefantes, principalmente na Ásia, que nascem sem as presas de marfim características dos machos da espécie. ... O processo é desencadeado pela ação predadora dos caçadores, em busca do valioso marfim...

Veja, 10/08/2005.

a. Que nome se dá ao mecanismo evolutivo proposto por Charles Darwin para explicar a evolução das espécies ao longo do tempo? Se não fosse a ação dos caçadores, qual seria o fenótipo dos animais mais bem adaptados: presença ou ausência de chifres?

12. a) Seleção natural. Sem caçadores, o fenótipo mais frequente provavelmente seria presença de presas (marfim).

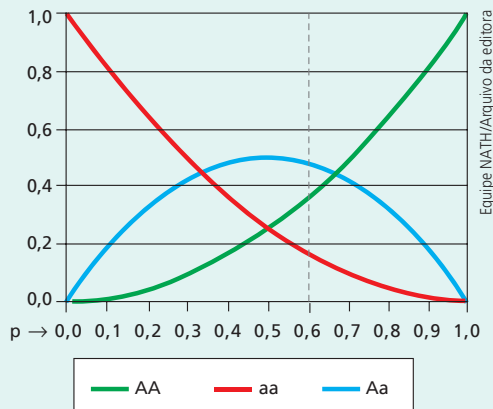


12. b) Consulte o Manual.

**b.** Do ponto de vista genético e evolutivo, explique por que está havendo aumento na proporção de elefantes que nascem sem as presas.

13. (UFRJ) O gráfico a seguir mostra as frequências dos genótipos de um loco que pode ser ocupado por dois alelos **A** e **a**. No gráfico, **p** representa a frequência do alelo **A**.

13. Consulte o Manual.



Calcule a frequência dos genótipos **AA**, **Aa**, **aa** nos pontos determinados pela linha pontilhada. Justifique sua resposta.

14. (Unicamp-SP) A anemia falciforme é caracterizada por hemácias em forma de foice, em função da produção de moléculas anormais de hemoglobina, incapazes de transportar o gás oxigênio. Indivíduos com anemia falciforme são homozigotos (**SS**) e morrem na infância. Os heterozigotos (**Ss**) apresentam forma atenuada da anemia. Na África, onde a malária é endêmica, os indivíduos heterozigotos para anemia falciforme são resistentes à malária.

**a.** Explique o que é esperado para a frequência do gene **S** em presença da malária. E em ausência da malária?

**b.** Qual é a explicação para o fato de os heterozigotos para anemia serem resistentes à malária?

15. (UERJ) Segundo o Teorema de Hardy-Weinberg, uma população ideal deve atingir o equilíbrio, ou estado estático, sem grandes alterações de seu reservatório genético. Em uma das ilhas do arquipélago de Galápagos, uma das condições estabelecidas por Hardy e Weinberg para populações ideais foi seriamente afetada por uma erupção vulcânica ocorrida há cerca de cem mil anos. Esta erupção teria diminuído drasticamente a população de jabutis gigantes da ilha.

**a.** Cite duas das condições propostas por Hardy e Weinberg para que o equilíbrio possa ser atingido.

15. a) As populações devem ser grandes e os cruzamentos devem ocorrer ao acaso.

**b.** Defina o conceito de evolução em função da frequência dos genes de uma população e indique de que forma a diminuição da população afetou a evolução dos jabutis gigantes.

15. b) Consulte o Manual.

14. a) Nas áreas com malária, espera-se que a frequência do alelo **S** aumente. Consulte o Manual.

16. Os cruzamentos que geraram descendentes férteis indicam que os parentais pertenciam à mesma população (**A**, **B** e **D**). A população **C** pertence a uma espécie diferente. O fator que originou essas populações pode ter sido uma barreira geográfica.

16. (Unesp – mod.) As populações **A**, **B**, **C** e **D** vivem em quatro regiões geográficas diferentes. Quando os indivíduos dessas populações foram colocados juntos, cruzaram-se e os resultados obtidos foram os seguintes:

Cruzamentos	Descendentes
<b>A</b> × <b>B</b>	férteis
<b>A</b> × <b>D</b>	férteis
<b>B</b> × <b>C</b>	estéreis
<b>B</b> × <b>D</b>	férteis
<b>C</b> × <b>D</b>	estéreis

O que se pode concluir do fato de os cruzamentos **A** × **B**, **A** × **D** e **B** × **D** terem produzido descendentes férteis? Que fator inicial pode ter dado origem às populações **A**, **B**, **C** e **D**?

17. (Enem-2003) A biodiversidade é garantida por interações das várias formas de vida e pela estrutura heterogênea dos *habitats*. Diante da perda acelerada de biodiversidade, tem sido discutida a possibilidade de se preservarem espécies por meio da construção de “bancos genéticos” de sementes, óvulos e espermatozoides. Apesar de os “bancos” preservarem espécimes (indivíduos), sua construção é considerada questionável do ponto de vista ecológico-evolutivo, pois se argumenta que esse tipo de estratégia.

**I.** Não preservaria a variabilidade genética das populações.

**II.** Dependaria de técnicas de preservação de embriões, ainda desconhecidas.

**III.** Não reproduziria a heterogeneidade dos ecossistemas.

Está correto o que se afirma em:

**a.** I, apenas. **c.** I e III, apenas. **e.** I, II e III.

**b.** II, apenas. **d.** II e III, apenas.

18. (Enem-2012) Não é de hoje que o homem cria, artificialmente, variedades de peixes por meio da hibridação. Esta é uma técnica muito usada pelos cientistas e pelos piscicultores porque os híbridos resultantes, em geral, apresentam maior valor comercial do que a média de ambas as espécies parentais, além de reduzir a sobrepesca no ambiente natural.

Terra da Gente, ano 4, n. 47, mar. 2008 (adaptado).

Sem controle, esses animais podem invadir rios e lagos naturais, se reproduzir e

**a.** originar uma nova espécie poliploide.

**b.** substituir geneticamente a espécie natural.

**c.** ocupar o primeiro nível trófico no habitat aquático.

**d.** impedir a interação biológica entre as espécies parentais.

**e.** produzir descendentes com o código genético modificado.

18. b

14. b) O plasmódio, causador da malária, não consegue se desenvolver dentro de hemácias em forma de foice, características da anemia falciforme.

# Evolução humana



## 1 Introdução

Vimos, nos dois capítulos anteriores, algumas evidências da evolução dos seres vivos, com ênfase para o estudo dos fósseis e dos processos de seleção natural e adaptação, o que nos levou a entender o surgimento de novas espécies, fenômeno ininterrupto que ocorreu e continua a ocorrer ao longo do tempo.

Neste capítulo, vamos estudar a evolução do grupo ao qual pertencemos, conhecendo as principais evidências científicas que explicam o surgimento da espécie humana. Veremos, assim, um pouco a respeito dos nossos ancestrais e da migração da espécie humana pelos diferentes continentes.

### 1.1 Como é feito o estudo científico do passado?

O estudo científico da evolução humana se desenvolveu a partir da obra de Charles Darwin, publicada no século XIX. Darwin analisou um conjunto de evidências sustentando a teoria da evolução dos seres vivos pela seleção natural, que você já estudou neste livro.

Na mesma época, Thomas Henry Huxley, contemporâneo de Darwin, publicou uma obra na qual reuniu evidências das semelhanças na anatomia e no desenvolvimento embrionário entre o ser humano e grandes primatas, principalmente gorilas e chimpanzés. Teve início uma nova forma de pensar na comunidade científica: o ser humano como parte da natureza, com uma história evolutiva, assim como as outras espécies. Começou, também, a busca por evidências do ancestral que teria dado origem à espécie humana.

No início do século XX, foram analisadas as primeiras ossadas fósseis de organismos com características parecidas com as dos seres humanos, mas de espécies diferentes, não mais existentes. As descobertas em Paleontologia foram fundamentais para o desenvolvimento do estudo da evolução humana, mas esse caminho não foi simples: na maioria das vezes, são encontradas ossadas incompletas, deterioradas. A principal ferramenta utilizada, naquela época, era a comparação com esqueletos humanos e outros primatas atuais.

Hoje a tecnologia é uma grande aliada das pesquisas em Paleontologia. É possível obter a idade da rocha onde o fóssil foi encontrado, assim como reconstituir a imagem de um crânio, por exemplo, a partir de apenas alguns ossos ou fragmentos encontrados em sítios paleontológicos. A análise de moléculas também fornece importantes dados: foram feitas comparações do DNA de diferentes populações humanas, do DNA humano com o de outros primatas, entre muitas outras.

As evidências de povoados humanos no passado, objeto de estudo da Arqueologia, também são importantes no estudo da evolução humana. As pinturas rupestres, como a mostrada ao lado, são um exemplo.



Qual é a diferença entre Paleontologia e Arqueologia? O que estudam essas duas áreas científicas? Com sua equipe, busquem informações e escrevam um texto sobre o tema. Se possível, visitem um museu de arqueologia em sua região.

Veja comentários no Manual.



Lara Venanzi/Kino

^ No Parque Nacional da Serra da Capivara (PI), estão cadastrados mais de mil sítios arqueológicos com **arte rupestre**, como a pintura da imagem, que tem cerca de 12 mil anos.

## 2 Escala do tempo geológico e surgimento da espécie humana



James Hutton, um dos primeiros cientistas a propor que a Terra sofre transformações constantes desde a sua origem. Este retrato foi pintado em 1776.

Até o final do século XVIII e início do XIX, a maioria dos cientistas aceitava a ideia de que a idade da Terra era de alguns milhares de anos. Avanços no estudo das rochas e dos fósseis levaram a novas interpretações, indicando que a Terra era muito mais antiga.

Em 1775, o inglês James Hutton, considerado o “pai da Geologia”, escreveu um livro apresentando a ideia de que o relevo da Terra se transformava, a partir de processos como vulcanismo, erosão e sedimentação, no decorrer de um tempo muito longo, em intervalos de milhões de anos.

A hipótese, defendida por Hutton, de que a história das rochas é marcada por mudanças lentas e constantes, passou a influenciar muitos cientistas, como o geólogo Charles Lyell, que escreveu, entre 1830 e 1833, a obra *Princípios de Geologia*. Lyell afirmava que os fenômenos que moldaram a Terra no passado ainda acontecem no presente. A obra de Lyell, por sua vez, influenciou novas gerações de cientistas, incluindo um jovem naturalista inglês, Charles Darwin.

Os geólogos do século XIX eram capazes de classificar as rochas e os fósseis como mais antigos ou mais recentes, criando assim uma **escala de tempo geológico**. Essa escala foi basicamente organizada em eras, sendo cada era subdividida em períodos. Embora definida uma ordem temporal entre os períodos e as eras geológicas, não era possível saber a duração absoluta de cada intervalo de tempo, pois ainda não existiam métodos que revelassem a idade das rochas e dos fósseis até então conhecidos.

No século XX, foram desenvolvidos métodos destinados a descobrir a idade das rochas. Com isso, a idade da Terra foi calculada em cerca de 4,6 bilhões de anos – muito mais antiga do que imaginavam os cientistas no século XVIII. A história da vida na Terra, por sua vez, teria se iniciado há cerca de 3,5 bilhões de anos.

A partir dos métodos de datação de rochas e fósseis, a escala de tempo geológico também foi sofrendo ajustes quanto à duração das eras e dos períodos. Cada era corresponde a um intervalo de tempo de muitos milhões de anos, chamado de **tempo geológico**.

As eras estão organizadas em categorias mais abrangentes, os éons. O éon Fanerozoico abriga as eras Paleozoica, Mesozoica e Cenozoica, da mais antiga para a mais recente. Como o período mais antigo da era Paleozoica é o período Cambriano, vamos chamar, por simplificação, os éons anteriores ao Fanerozoico de “Pré-Cambriano”.

O Pré-Cambriano corresponde à maior parte da história da Terra, de 4,6 bilhões a 570 milhões de anos atrás. Nesse longo intervalo de tempo, o planeta sofreu grandes modificações físicas:

a formação das rochas sólidas da superfície, os movimentos tectônicos, o surgimento dos mares primitivos e da atmosfera. Os fósseis mais antigos encontrados são microscópicos e indicam que os primeiros seres vivos, provavelmente constituídos de uma célula muito simples, surgiram há cerca de 3,8 bilhões de anos.

O éon Fanerozoico corresponde a menos de 1/8 da história da Terra, mas foi nele que os seres vivos se diversificaram e colonizaram os diversos ambientes



A estrutura mostrada na foto mede apenas 0,003 mm de comprimento e é um **fóssil de cianobactérias** com cerca de 1 bilhão de anos.



A escala do tempo geológico vem sofrendo atualizações, mas optamos por apresentar a versão mais tradicional e ainda usada, por ser adequada ao nível de aprofundamento apropriado ao Ensino Médio. Veja mais comentários no Manual.

que se formaram na superfície do planeta. Ao longo da história da vida na Terra, ocorreram eventos de extinção e também o surgimento de novos grupos de seres vivos.

A evolução humana é processo recente na história da vida. O registro fóssil e outras evidências indicam que o grupo dos mamíferos, do qual o ser humano faz parte, originou-se no período Triássico, há cerca de 225 milhões de anos, a partir de uma linhagem de amniotas. Outra linhagem derivada dos amniotas primitivos originou os répteis e as aves atuais.

Segundo o registro fóssil, os primeiros mamíferos apresentavam pequeno porte e alimentavam-se provavelmente de insetos. Eles eram endotérmicos, característica sugestiva de terem sido capazes de explorar o ambiente à noite, uma vez que os ectotérmicos necessitam do calor do ambiente para aquecer seus corpos, o que normalmente ocorre durante o dia claro. Os pelos e as glândulas mamárias, entre outras características presentes em todos os mamíferos atuais, também caracterizavam os mamíferos primitivos.

Durante a era Mesozoica (245 a 65 milhões de anos atrás), a diversidade de mamíferos era pequena. Há cerca de 65 milhões de anos, ocorreu um evento de extinção em massa, no qual muitas espécies de plantas e de animais – incluindo os dinossauros – foram extintas. Foi após esse evento que, de acordo com o registro fóssil, ocorreu a irradiação dos mamíferos, com o surgimento da maioria dos grupos atuais.

O registro fóssil indica que os primeiros homínídeos surgiram nos períodos mais recentes da era Cenozoica.

Apenas para facilitar o entendimento, imagine a história da Terra, desde a sua formação, representada como as 24 horas de um dia. O planeta teria se formado à meia-noite (0h) e os primeiros seres vivos, organismos unicelulares, teriam surgido nos mares primitivos provavelmente às 4 horas da madrugada. Os primeiros animais teriam surgido entre 20 horas 30 minutos e 21 horas. Pouco antes das 22 horas, existiram plantas terrestres. Os dinossauros teriam aparecido pouco antes das 23 horas e sua existência, durante a Era Mesozoica, teria durado apenas 45 minutos. Os seres humanos, por sua vez, teriam surgido às 23 horas 59 minutos e 43 segundos.

Veja, na tabela da página seguinte, alguns eventos que marcaram a história da vida na Terra e repare em que momento dessa história aparecem os primeiros seres considerados humanos. Essa tabela é organizada, por convenção, com o período mais recente na parte superior. Assim, para conhecer a história da Terra a partir de sua formação, a leitura deve ser feita de baixo para cima.



## RECORDE-SE

### Amniotas

Vertebrados que possuem âmnio, anexo embrionário que delimita uma cavidade preenchida pelo líquido amniótico, em que o embrião se desenvolve. Mamíferos, répteis e aves são amniotas.

### Endotermia

Capacidade de liberação de energia dentro do próprio organismo, a partir de seu metabolismo, ao contrário dos animais ectotérmicos, que aquecem o corpo principalmente à custa da energia do ambiente.

Veja no Manual os conceitos de homotermia (ou homeotermia) e poicilotermia, diferenciando-os de endotermia e ectotermia.



Richard Bizley/SP/Latinstock

Reconstituição artística de **mamífero primitivo**, com base no registro fóssil. Eles eram pequenos, do tamanho aproximado de um camundongo.



## PENSE E RESPONDA

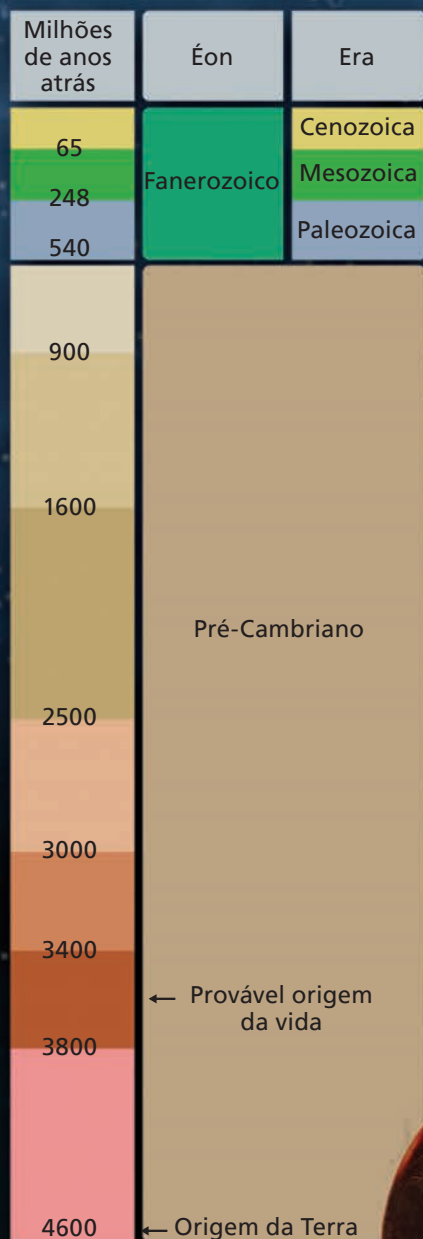
Faça as atividades em seu caderno:

- Represente a linha do tempo geológico na forma de um relógio. a) Consulte o Manual.
- Nessa escala, as 24 horas do dia correspondem a quantos anos do tempo geológico?
- Cite três eventos que teriam ocorrido na Terra entre 0 e 4 horas da madrugada.
- Em qual era geológica surgiu a espécie humana?

b) Aproximadamente 4,6 bilhões de anos.

c) Formação das rochas, dos mares primitivos e indícios da origem da vida.

d) Era Cenozoica.



Era	Período
Cenozoica	Quaternário
	Terciário
Mesozoica	Cretáceo
	Jurássico
	Triássico
Paleozoica	Permiano
	Carbonífero
	Devoniano
	Siluriano
	Ordoviciano
	Cambriano
Pré-Cambriano	Pré-Cambriano



































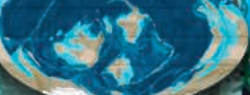

► Representação artística da Terra, há cerca de 4 bilhões de anos, e da Lua. Uma hipótese provável da origem da Lua é a que propõe o impacto de um grande corpo celeste com a Terra. Material proveniente desse corpo celeste e da própria Terra teria sido ejetado para o espaço, formando a Lua, que passou a orbitar a Terra. Essa hipótese é reforçada pela grande semelhança na composição química entre Terra e Lua, entre outras evidências.



Configuração relativa  
dos continentes

Reconstituição artística  
de um ambiente

## Principais eventos

			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evolução da espécie humana</li> <li>• Evento de glaciação ("era do gelo")</li> </ul>
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diversificação de mamíferos, aves e angiospermas</li> <li>• Origem e diversificação dos primatas</li> </ul>
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Origem das angiospermas</li> <li>• Muitos grupos de animais e plantas foram extintos ao final desse período</li> </ul>
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Predomínio de florestas de gimnospermas e de dinossauros no ambiente terrestre</li> </ul>
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diversificação dos dinossauros</li> <li>• Origem dos mamíferos</li> </ul>
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diversificação de répteis e insetos</li> <li>• Evento de extinção em massa</li> </ul>
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Predomínio de florestas de pteridófitas e de anfíbios no ambiente terrestre</li> <li>• Origem das gimnospermas e dos répteis</li> </ul>
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diversificação dos peixes ósseos</li> <li>• Origem de insetos e tetrápodes</li> </ul>
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diversificação das pteridófitas</li> </ul>
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mar: algas, invertebrados e peixes primitivos</li> <li>• Fungos, plantas e invertebrados nos ambientes terrestres</li> </ul>
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diversificação dos invertebrados no ambiente marinho</li> </ul>
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Surgimento, no final desse período, de algas e invertebrados como poríferos e cnidários, que constituíram a chamada "fauna de Ediacara"</li> </ul>

^ Para cada período da história geológica da Terra, a partir do final do Pré-Cambriano, há uma representação artística de organismos e paisagens, baseando-se no registro fóssil. No entanto, em cada período havia diferentes ambientes na Terra. As figuras estão representadas em diferentes escalas.

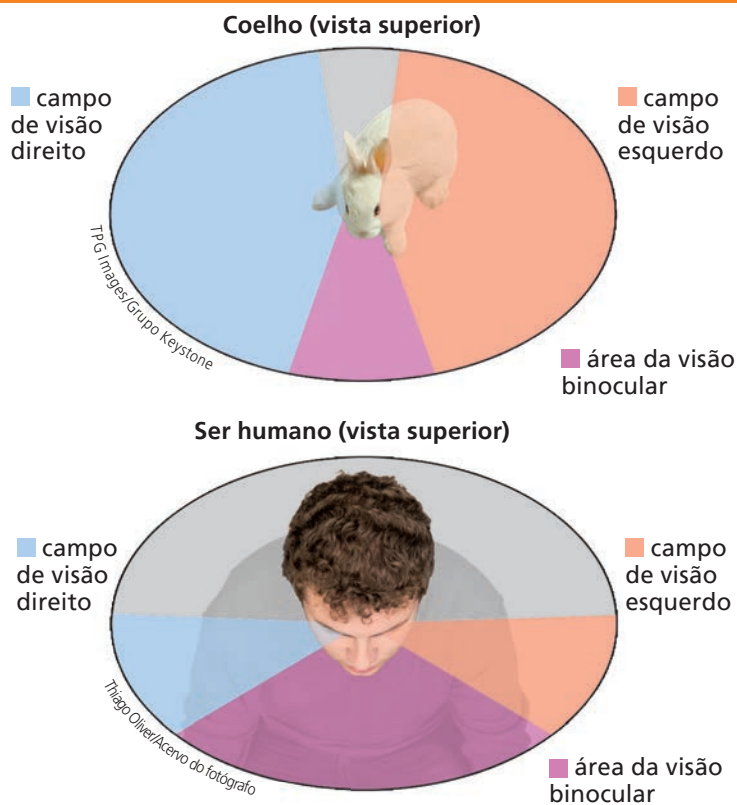
## Extinções em massa

Durante a história da vida na Terra, ocorreram eventos de **extinção em massa**, nos quais grande número de grupos de seres vivos deixou de existir, provavelmente devido a drásticas mudanças ambientais em nível global. Na tabela acima estão destacados dois desses eventos, em vermelho.



### 3 Primatas

#### Área da visão binocular em dois mamíferos



Nós, seres humanos, somos mamíferos e, portanto, compartilhamos com os outros animais dessa classe as características já estudadas no volume anterior.

Dentro da classe dos mamíferos, pertencemos à ordem dos **primatas**, na qual também estão agrupados os macacos e os hominídeos fósseis, como o "homem de Neandertal".

Vamos conhecer algumas características que os primatas possuem em comum.

A face dos primatas é menos proeminente em comparação com outras ordens de mamíferos, com os olhos voltados para a frente, e não para os lados, permitindo a visão tridimensional do ambiente, como no esquema ao lado. Essa característica propiciou o hábito arborícola dos primeiros primatas.

Outra característica dos primatas é o fato de possuírem cinco dedos em cada mão e em cada pé. Nas mãos, o polegar é **oponível**, ou seja, não está localizado na mesma linha dos outros dedos, possibilitando manipulação cuidadosa de objetos. Essa característica também está presente

nos pés dos primatas, com exceção da espécie humana, que possui pés semelhantes a plataformas, relacionados à locomoção sobre duas pernas.

Há muito tempo o parentesco evolutivo próximo entre o ser humano e outros primatas é evidente para os cientistas. Em 1863, Huxley publicou um trabalho de grande repercussão no meio científico da época, no qual se defendia a proximidade evolutiva entre seres humanos e chimpanzés e o parentesco um pouco mais distante entre esses dois primatas com os gorilas, baseando-se apenas em dados de anatomia comparada. Esses dados têm sido confirmados recentemente por novas evidências, como a descoberta de fósseis e o estudo comparativo de moléculas, como o DNA. Observou-se, por exemplo, que a semelhança genética entre seres humanos e chimpanzés é de aproximadamente 98,5%.



As figuras estão representadas em diferentes escalas.



Veja no diagrama a seguir a representação das relações de parentesco evolutivo entre os primatas, de acordo com hipóteses bem-aceitas no meio científico atualmente.

Alexandre Jubani/Arquivo da editora

As figuras estão representadas em diferentes escalas.

*Darwinius masillae*, primata extinto de uma linhagem posterior à dos lêmures e anterior à dos tárrios.

DIVULGAÇÃO PNLD

70 60 50 40 30 20 10  
milhões de anos atrás

tempo presente

ser humano

chimpanzé

gorila

orangotango

gibão

macaco do Velho Mundo

macaco do Novo Mundo

tárrio

lêmure

Hominoidea (grandes primatas)  
Antropoidea

Prossimios

Diagrama ilustrando **hipótese das relações evolutivas entre os primatas**. A reconstituição artística de *Darwinius masillae* (em cores fantasia) está fundamentada no registro fóssil.

Fontes:

LEWIN, R. *Human evolution*. 5. ed. New Jersey: Blackwell Publishing, 2009, p. 61.

MADER, S. *Concepts of Biology*. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 2011, p. 414.

## 4 Primeiros hominídeos

São chamados **hominídeos** os seres humanos atuais (espécie *Homo sapiens*) e espécies fósseis como os **australopitécíneos** e os **neandertais**. De acordo com o registro fóssil, os primeiros hominídeos teriam surgido há cerca de 5 e 6 milhões de anos.

O gibão, o orangotango, o gorila e o chimpanzé são macacos antropóides conhecidos como “grandes primatas”. Seres humanos e grandes primatas compartilham determinadas características exclusivas. Veja na figura a seguir algumas dessas características, tomando como exemplo o ser humano e o gorila.

Nos seres humanos, as características mencionadas na figura são ainda mais desenvolvidas do que nos grandes primatas, estando relacionadas com a **postura bípede**, como a coluna com curvaturas (coluna em “S”). Na locomoção apenas os

membros inferiores – pernas e pés – são empregados. Os membros superiores – braços e mãos – estão envolvidos em outras funções. Os demais primatas apresentam hábito arborícola, no qual utilizam os quatro membros para locomoção, podendo ficar na posição bípede em algumas situações.

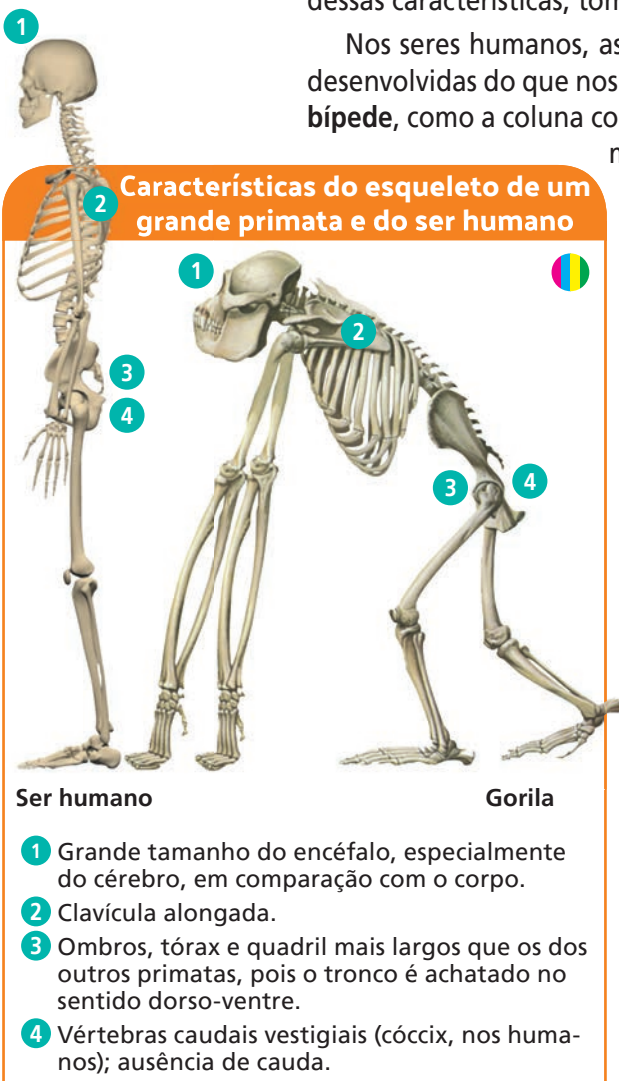
Observam-se, na espécie humana, outras características relacionadas à locomoção bípede, como a sustentação vertical da cabeça, ossos da perna alongados, membros superiores mais curtos, pés constituindo uma “plataforma” e posições especiais dos ossos da coluna, da pelve e dos ombros. Além disso, características da dentição permitem o consumo de uma variedade maior de alimentos.

O tamanho da caixa craniana permite aos cientistas calcular o volume ocupado pelo encéfalo. Acredita-se que a massa encefálica aumentada em relação à dos macacos esteja relacionada ao maior desenvolvimento de habilidades motoras e raciocínio nos seres humanos. É importante reforçar que essa relação entre tamanho do encéfalo e habilidades de raciocínio é válida dentro de certos limites e apenas quando esse tamanho é considerado em proporção ao resto do corpo.

Os paleoantropólogos, que estudam a evolução biológica humana, procuram formular hipóteses a respeito de como e quando essas características surgiram, ou

seja, quando a espécie humana surgiu. Para responder a essas questões, os cientistas contam principalmente com o registro fóssil. Já foram encontradas diversas formas fósseis que guardam semelhanças com o ser humano atual, mas apresentam algumas diferenças que indicam claramente tratar-se de espécies distintas de hominídeos.

A classificação de alguns desses fósseis em espécies e gêneros é geralmente cercada de muito debate pelos pesquisadores, que podem apresentar hipóteses diferentes sobre o grau de parentesco evolutivo com o ser humano moderno. Optou-se, por isso, neste livro, pela apresentação de apenas algumas espécies mais conhecidas, ou menos controversas, de hominídeos.



Esquema mostrando esqueletos do gorila e do ser humano, com a indicação de características comuns.

Veja mais comentários a respeito das características dos hominídeos no Manual.



## 4.1 Australopithecíneos

Os australopithecíneos constituem um grupo muito antigo de homínídeos, do qual faz parte o gênero *Australopithecus*, que existiu na África há cerca de 3,8 milhões de anos. Fósseis ainda mais antigos que os dos australopithecíneos foram encontrados recentemente, datando mais de 4 milhões de anos. No entanto, a relação de parentesco desses fósseis com os australopithecíneos ainda é tema de muita controvérsia no meio científico.

Um fóssil de *Australopithecus* de aproximadamente 3 milhões de anos ficou bastante conhecido pelo seu apelido: Lucy. Em 1974, uma equipe de paleoantropólogos norte-americanos encontrou diversas peças desse esqueleto em um depósito de rochas na Etiópia. Tais peças correspondiam a 40% do esqueleto, o que permitiu uma reconstituição bem feita dessa espécie, chamada *Australopithecus afarensis*. A análise do esqueleto permitiu concluir que Lucy era adulta e pertencia ao sexo feminino, possuía postura ereta e estima-se que sua altura não ultrapassasse um metro. Os braços longos e as pernas curtas lembram o esqueleto de um chimpanzé; no entanto, a estrutura dos joelhos e da pelve de *A. afarensis* indica hábito bípede, uma característica dos homínídeos.

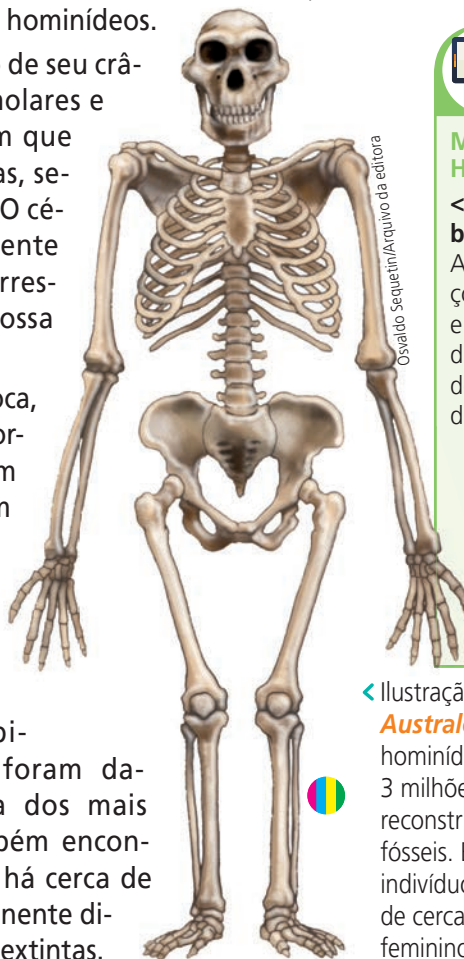
Não há muitas informações a respeito de seu crânio, mas a mandíbula e os dentes pré-molares e molares relativamente grandes indicam que sua alimentação era constituída de frutas, sementes e, menos comumente, de carne. O cérebro desses homínídeos era relativamente pequeno, ocupando um volume que corresponde a 35% do cérebro humano da nossa espécie, *Homo sapiens*.

Analisando outros fósseis da mesma época, encontrados nessas regiões, os cientistas formularam hipóteses a respeito de como eram as condições do ambiente em que viviam os australopithecíneos. Existem evidências de que em algumas regiões, esses homínídeos viviam em bandos e habitavam florestas e outras regiões nos arredores de lagos e rios.

Algumas espécies de australopithecíneos recentemente descobertas foram datadas como sendo da mesma época dos mais antigos fósseis do gênero *Homo*, também encontrados na África. Esse dado indica que, há cerca de 2 milhões de anos, existiam naquele continente diversas espécies de homínídeos – todas elas extintas.



^ **Esqueleto de Lucy** parcialmente montado, com as partes fósseis encontradas.



Oswaldo Sequetin/Arquivo da editora



### MULTIMÍDIA

#### Museu Virtual da Evolução Humana

<<http://www.ib.usp.br/biologia/evolucaohumana/>>

Aqui você encontra informações sobre evolução humana e fotos de fósseis de homínídeos, do acervo do Laboratório de Estudos Evolutivos Humanos da Universidade de São Paulo.

Acesso em: 26 fev. 2016.



Reprodução

< Ilustração do esqueleto de *Australopithecus afarensis*, homínídeo que viveu há cerca de 3 milhões de anos na África. Esta reconstrução foi feita a partir de fósseis. Estima-se que a altura dos indivíduos do sexo masculino era de cerca de 1,5 m e a do sexo feminino, de 1,0 m.



Christian Jegou Publiphoto Diffusion/SPL/Latinstock

Reconstituição artística  
de *Homo habilis*.

## 4.2 *Homo habilis*

Os fósseis mais antigos pertencentes ao gênero *Homo*, o mesmo gênero do ser humano atual, datam de cerca de 2,2 milhões de anos e são encontrados no registro fóssil até cerca de 1,5 milhão de anos. Esses fósseis pertencem à espécie *Homo habilis*, nome dado em razão da existência de evidências de que este era mais habilidoso que os australopithecíneos, sendo capaz de produzir ferramentas de pedras lascadas. Com tais ferramentas, esses hominídeos provavelmente retiravam pedaços de carne de animais mortos atacados por animais maiores. Seus dentes, menores que os dos australopithecíneos, indicam que eles consumiam mais carne do que frutas e outros vegetais. Os cientistas também relacionam esse hábito alimentar com uma mudança climática na região, que se tornava cada vez mais fria e árida – neste cenário a oferta de frutas provavelmente era menor.

O cérebro do *Homo habilis* era mais desenvolvido que o dos australopithecíneos, correspondendo a praticamente 50% do volume do cérebro do *Homo sapiens*.

## 4.3 *Homo ergaster* e *Homo erectus*

Fósseis muito parecidos com esqueletos humanos atuais foram encontrados em regiões da África, como no Quênia, datando cerca de 1,5 milhão de anos. Os crânios apresentavam boca proeminente e saliência óssea acima dos olhos, além de existirem evidências de que produziam ferramentas de pedras. Essa espécie foi chamada *Homo ergaster* e estima-se que tenha existido entre 1,9 milhão e 600 mil anos atrás.

Fósseis muito parecidos com *Homo ergaster* foram encontrados em outras regiões da África e na Ásia, onde os exemplares recentes têm “apenas” 200 mil anos. A hipótese mais aceita atualmente é a de que o parentesco evolutivo entre *Homo ergaster* e esta outra espécie, chamada *Homo erectus*, é muito próximo. O registro fóssil indica que os indivíduos da espécie *Homo erectus* apresentavam postura ereta, crânio aumentado em relação ao *Australopithecus* e capacidade de produzir ferramentas e roupas. A descoberta de esqueletos de *H. erectus* em regiões distintas como África e Ásia indica que houve migração de indivíduos, provavelmente motivada pela mudança do clima, que se tornava mais frio e seco.

Existem diversas hipóteses acerca do parentesco evolutivo entre *Homo ergaster* e *Homo erectus* com a espécie *Homo sapiens*. A questão sobre qual dessas duas espécies de hominídeos fósseis está mais proximamente relacionada ao ser humano atual é tema de muito debate entre os paleoantropólogos.



Christian Jegou Publiphoto Diffusion/SPL/Latinstock

Ferramentas de  
pedra lascada,  
encontradas na  
Tanzânia (África).  
Eram provavelmente  
usadas por indivíduos  
da espécie *Homo  
erectus* para diversos  
fins, como retirar carne  
de animais mortos ou  
escavar madeira.

Reconstituição artística  
de *Homo erectus*.



## 4.4 Neandertais

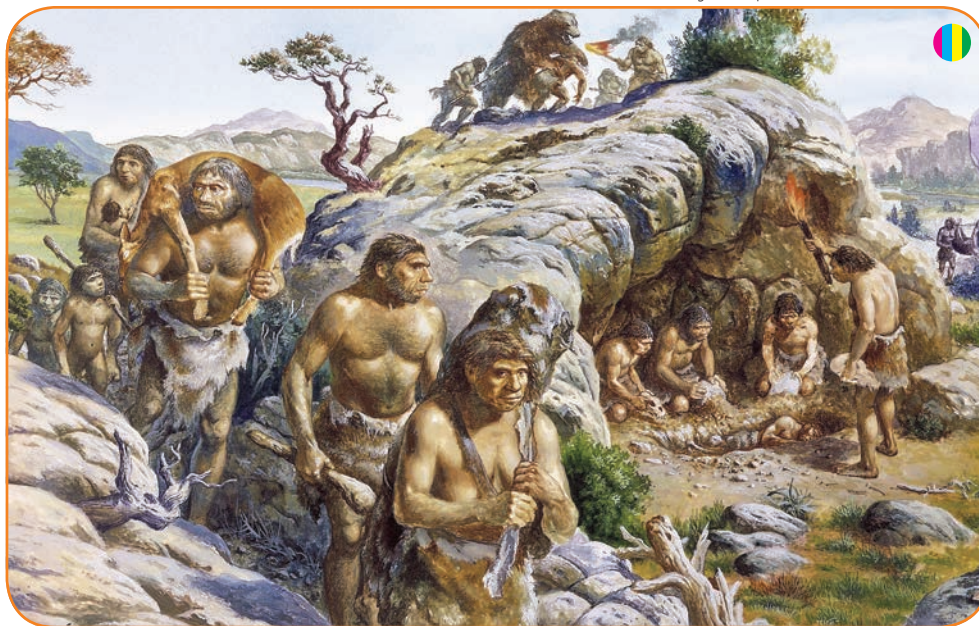
A análise das características observadas nos fósseis desses hominídeos levou os cientistas a classificar os **neandertais** como pertencentes ao gênero *Homo*. Eles surgiram provavelmente há cerca de 200 mil anos. Como os primeiros fósseis foram descobertos no vale do rio Neander, na Alemanha, ficaram conhecidos como “homens de Neandertal”. Depois, foram encontrados em outras regiões da Europa, na região central da Ásia e no Oriente Médio.

Seu corpo era muito parecido com o nosso, porém era mais baixo e forte, com aspecto atarracado, e apresentava algumas diferenças importantes no crânio, como representado na comparação abaixo.

Os neandertais também ficaram conhecidos como “homens das cavernas”, pois existem evidências de que usavam as cavernas como abrigo. Eles viveram durante um período de glaciação, em que o clima na Terra era muito frio. Fabricavam roupas de peles e instrumentos de pedra, mas não há indícios de organização social complexa ou de produção de pinturas e objetos de arte.

Devido a essas características, são classificados por alguns pesquisadores como a espécie *Homo neanderthalensis* e, por outros, como a subespécie *Homo sapiens neanderthalensis*. No entanto, parece ser consenso entre os cientistas que a nossa espécie não surgiu a partir de um grupo de neandertais.

Christian Jegou Publiphoto Diffusion/SPL/Latinstock



^ Reconstituição artística de população de *Homo neanderthalensis*.

## 4.5 Homo sapiens

De acordo com o registro fóssil, a espécie *Homo sapiens* surgiu na África, há cerca de 150 mil anos. Sabe-se que os primeiros seres humanos conviveram com os neandertais em algumas regiões, entre 40 e 30 mil anos atrás. A nossa espécie prevaleceu e expandiu-se pelo mundo, enquanto o homem de Neandertal foi extinto.

Pesquisadores estão em busca de novas evidências que possam auxiliar na elaboração de hipóteses sobre o que teria acontecido aos hominídeos fósseis e por que apenas o *Homo sapiens* sobreviveu. Novos fósseis são encontrados, e sofisticadas ferramentas de estudo, como análise molecular, são utilizadas com tal objetivo.



### ATENÇÃO

Segundo tradição de nossa língua, o termo “**homem**” pode ser utilizado não apenas para se referir às pessoas do sexo masculino, mas também como sinônimo de ser humano, humanidade. Quando se diz “homem das cavernas”, compreende-se que havia uma população com mulheres, crianças e homens. Esteja atento ao contexto no qual o termo aparece.

### Comparação de crânios

#### *Homo neanderthalensis*

margem supraorbital saliente



#### *Homo sapiens*

margem supraorbital pequena



^ Esquema que compara **crânio** de um neandertal (superior), e crânio de um homem moderno.

Luís Moura/Arquivo da editora





## MULTIMÍDIA

## Sítio arqueológico de Lascaux (França)

< [www.lascaux.culture.fr](http://www.lascaux.culture.fr) >

Neste *site*, em francês, é possível fazer uma visita virtual às cavernas de Lascaux, na França, com imagens tridimensionais do interior das cavernas e suas pinturas rupestres. Essas cavernas foram descobertas ao acaso, em 1940, por quatro adolescentes que pastavam na área.

Acesso em: 07 fev. 2016.

SUGESTÃO  
DE ATIVIDADE

^ Crânio do "homem de Cro-Magnon" (*Homo sapiens*).

O primeiro fóssil de um ser humano – espécie *Homo sapiens* – foi encontrado na França, na região de Cro-Magnon, com idade calculada em torno de 40 mil anos. Com ossos do "homem de Cro-Magnon", foi encontrada uma grande variedade de ferramentas, além de indícios de cultura, como enterro dos mortos e pinturas nas cavernas. Assim, esses hominídeos talvez representem o início da humanidade, que não é definida apenas por suas características biológicas, mas também por uma organização social complexa, produção de cultura e habilidades de raciocínio não observadas em nenhuma outra espécie.

Como a evolução é um processo permanente na natureza e uma característica dos seres vivos, a espécie humana também continua a evoluir e a afetar a evolução de outras espécies.

## 5 Migração da espécie humana pelos continentes

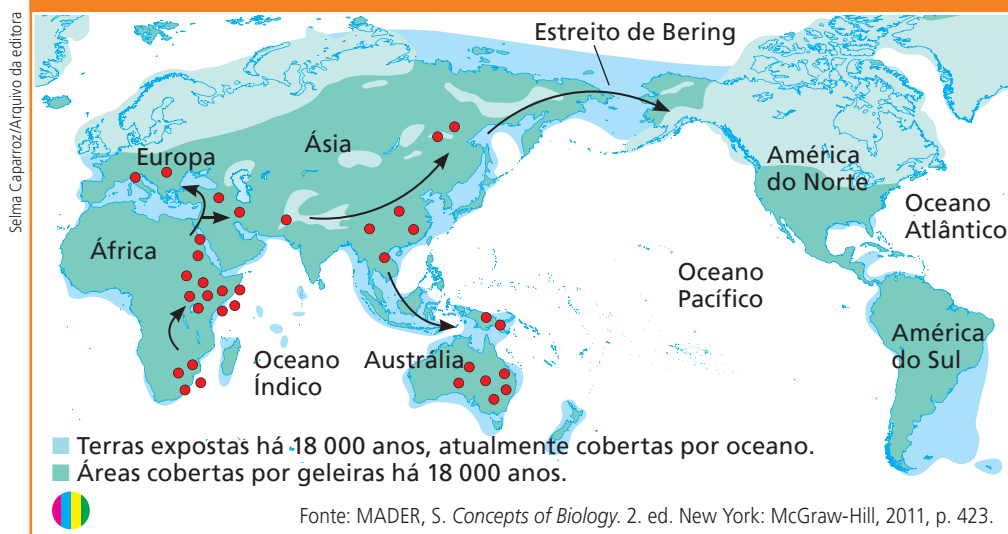
Com exceção da espécie humana, a maioria dos primatas é encontrada em áreas tropicais e subtropicais do mundo. *Homo sapiens* é a única espécie de primata encontrada nos mais diversos ambientes terrestres: em áreas frias, áridas, quentes ou úmidas.

Como os fósseis mais antigos de hominídeos foram encontrados na África, é consenso entre os paleoantropólogos de que foi naquele continente que a espécie humana surgiu.

Analisando a ocorrência e as idades de fósseis encontrados em outros locais, uma hipótese bem-aceita é a de que há cerca de 100 mil anos a espécie *Homo sapiens* migrou para a Ásia. Entre 60 e 40 mil anos atrás teria ocorrido a migração de grupos de *Homo sapiens* para a Europa e, há cerca de 30 mil anos, a espécie teria chegado ao continente americano.

Atualmente, o estudo das migrações e da origem das populações humanas no mundo apoia-se também, em grande parte, na análise de moléculas, como o DNA mitocondrial, encontradas nos fósseis e em populações humanas atuais.

### Migrações de hominídeos entre 30 000 e 15 000 anos atrás





## Darwinismo social

Você já deve ter ouvido que “o homem veio do macaco”... Como vimos no início do capítulo, existem evidências científicas de que seres humanos e macacos possuem um ancestral comum exclusivo, que deve ter existido há pelo menos 6 milhões de anos. Essa afirmação está de acordo com a teoria da evolução biológica e não pode ser interpretada como sendo os macacos atuais os ancestrais dos seres humanos.

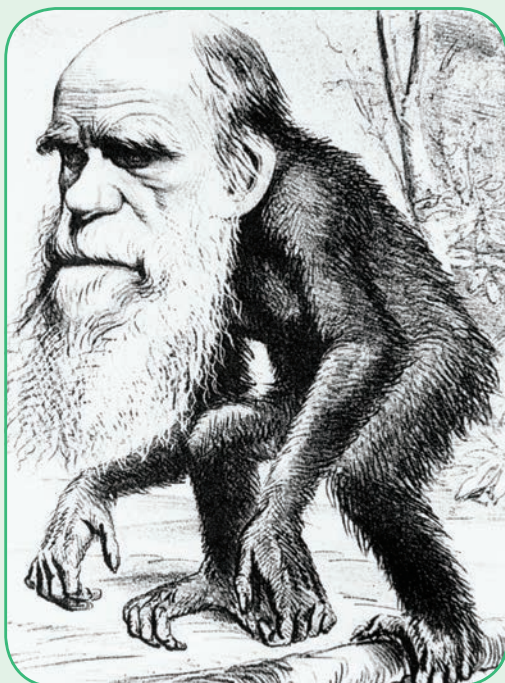
No entanto, quando Charles Darwin publicou seus trabalhos sobre a evolução biológica, na obra *A origem das espécies* e, posteriormente, sobre a evolução humana, no livro *A descendência do homem*, no final do século XIX, muitos de seus contemporâneos não compreenderam suas hipóteses e revoltaram-se com a ideia de serem comparados a macacos.

Os princípios da evolução segundo Darwin também foram utilizados de maneira distorcida quando alguns pensadores resolveram aplicar os conceitos da seleção natural para explicar a organização da sociedade humana. A ideia de que

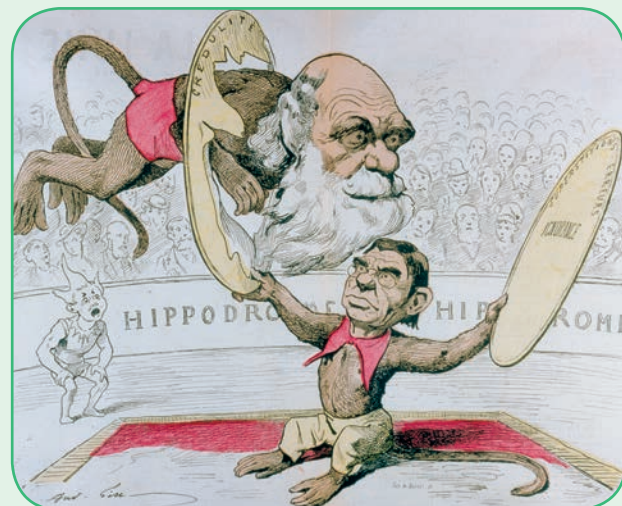
apenas os indivíduos mais adaptados às condições de um ambiente sobrevivem passou a ser interpretada como “os melhores sobrevivem”. A burguesia europeia, temendo o avanço das ideias socialistas de pensadores como Karl Marx, encontrou nesta interpretação errônea do darwinismo um aliado: pessoas ricas seriam melhores que as pessoas pobres e já teriam nascido com essa “vantagem”.

No século XX, a deturpação do darwinismo culminou com a ideia defendida por alguns de que entre os seres humanos existiriam raças “superiores” e “inferiores”.

A aplicação da teoria de Darwin no estudo da evolução biológica na sociedade humana ficou conhecida como “darwinismo social”. Não podemos nos esquecer, porém, de que as relações sociais não são determinadas geneticamente e não são leis da natureza; o mecanismo da seleção natural foi proposto como explicação para o processo evolutivo dos seres vivos na natureza e não para explicar ou validar organizações e sentimentos criados pelo ser humano.



- As ideias de Charles Darwin sobre a evolução humana não foram bem-aceitas quando publicadas e geraram protestos de todos os tipos, como esta **caricatura de 1871 que coloca o rosto de Darwin em corpo de chimpanzé**.



- Caricatura publicada na França, no século XIX, mostrando Charles Darwin em um picadeiro de circo, representado como um macaco.** O personagem da caricatura pula rompendo um círculo onde está escrito “credulidade” e está para romper outro círculo que traz a palavra “ignorância”. O autor da imagem está se referindo ao impacto da teoria de Darwin a respeito da evolução humana na sociedade da época. O filósofo e linguista francês Émile Littré, defensor das ideias de Darwin, foi representado segurando os arcos.

## Quando o ser humano chegou à América?

O conhecimento científico é construído a partir da análise de evidências, com o uso do raciocínio lógico, da divulgação de resultados e discussão permanente entre cientistas. Nos estudos em evolução e em particular na **paleoantropologia**, que busca compreender a origem de nossa espécie, o desafio dos cientistas é reconstituir o passado com base no que ficou preservado até o presente: os fósseis, as rochas onde eles são encontrados, a comparação com seres vivos atuais e outras evidências.

Nas últimas décadas, o desenvolvimento de sofisticadas ferramentas de análise dessas evidências resultou em enorme avanço na compreensão da evolução humana. A cada novo fóssil encontrado, o debate entre cientistas é intenso, pois hipóteses são refutadas, reformuladas ou corroboradas.

Atualmente, existem fortes evidências sustentando a ideia de que a origem da espécie humana foi na África, possivelmente nas regiões sul ou leste daquele continente. Existem diversas hipóteses que explicam as migrações de populações humanas a partir da África. Mas quando e como os seres humanos chegaram ao continente americano?

Existem fósseis de homínídeos encontrados no território brasileiro, que podem ajudar a elucidar essa questão? Na década de 1970, pesquisadores do Museu Nacional no Rio de Janeiro estudaram restos humanos encontrados em um sítio arqueológico em Lagoa Santa, Minas Gerais. Trata-se de um conjunto de centenas de esqueletos, cujos primeiros exemplares foram descobertos no século XIX pelo naturalista dinamarquês Peter Lund. Em algumas cavernas de Lagoa Santa, esses esqueletos humanos foram encontrados com ossos de animais extintos há cerca de 10 000 anos, como a preguiça-gigante. Esse fato seria um indício de quão antigos seriam esses esqueletos humanos.

Um dos esqueletos encontrados em Lagoa Santa, identificado como sendo de uma mulher jovem, entre 20 e 25 anos, tornou-se famoso ao ser estudado pelo pesquisador Walter Neves, do Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. O fóssil recebeu o nome “Luzia”, em analogia à Lucy, o famoso esqueleto de *Australopithecus afarensis* encontrado na África.

Luzia é um exemplar de *Homo sapiens* e, portanto, é muito mais recente do que os fósseis de australopithecíneos, mas é o mais antigo esqueleto humano identificado no continente americano. Walter Neves, utilizando sofisticados métodos de datação, concluiu que Luzia tem cerca de 11 mil anos.

A partir do estudo do crânio de Luzia, foi feita uma reconstituição artística de sua face. Essa reconstituição, apresentada em 1999, foi modelada em argila a partir de réplicas do crânio e contou com participação de diversos especialistas em anatomia e antropologia, entre outros. É importante comentar que os métodos de reconstituição facial estão sendo aprimorados e, provavelmente, a representação de Luzia e de outros fósseis sofrerão ajustes no futuro.

O estudo do crânio de Luzia fortaleceu uma hipótese segundo a qual as Américas teriam sido povoadas por duas levas distintas de *Homo sapiens*, provenientes da Ásia. A primeira migração teria ocorrido há pelo menos 14 mil anos, composta por indivíduos parecidos com Luzia, que têm muitas semelhanças com povos nativos da Austrália e da África. Essa linhagem não teria deixado descendentes no continente americano. A segunda onda migratória teria ocorrido há cerca de 12 mil anos, composta por indivíduos com características típicas dos asiáticos, e que teriam sido ancestrais das etnias indígenas que ocupam o continente.

Além de Lagoa Santa, o Brasil apresenta muitos outros sítios arqueológicos, diversos deles ainda pouco estudados. O Parque Nacional Serra da Capivara, no Piauí, por exemplo, abriga pinturas rupestres datadas em cerca de 10 mil anos. A arqueóloga Niede Guidon, que trabalha no Parque, afirma existirem evidências, como ferramentas de pedra, que sugerem uma ocupação humana ainda mais antiga na região, de pelo menos 30 mil anos, mas estudos aprofundados são necessários para analisar esse material e trazer novas hipóteses a respeito do povoamento da América.



Reconstituição do rosto de **Luzia**, baseada na análise de seu crânio fossilizado.





## 1 O homem de Piltdown

A área da paleoantropologia se desenvolveu no início do século XX, quando diversos cientistas, estimulados pela obra de Charles Darwin, passaram a se dedicar ao estudo da origem evolutiva da espécie humana. Naquela época, haviam descoberto apenas alguns esqueletos de neandertais.

Os paleoantropólogos consideraram quatro eventos da evolução dos hominídeos como fundamentais para o surgimento de nossa espécie: o hábito terrestre (e não arborícola), o bipedalismo, o grande volume do encéfalo em relação ao resto do corpo e o desenvolvimento de cultura, ou civilização. A ordem em que tais eventos teriam ocorrido, porém, sempre foi tema de intenso debate entre os cientistas.

No contexto de tal debate, em 1912, surgiu uma notícia de muita repercussão: a “descoberta” de um crânio de hominídeo que apresentava grande caixa craniana, uma característica humana, e mandíbula pequena, típica de grandes primatas. Esse exemplar recebeu o nome de “homem de Piltdown”, em referência à região da Grã-Bretanha onde ele teria sido encontrado.

Um grupo de paleoantropólogos ingleses ficou particularmente feliz com tal “descoberta”, pois ela confirmava a teoria por eles defendida: a de que o desenvolvimento do encéfalo precedeu outras mudanças na evolução humana. O homem de Piltdown foi classificado como sendo mais antigo do que os esqueletos de neandertais, que foram encontrados na Alemanha e descritos por cientistas franceses.

Na década seguinte, o antropólogo Raymond A. Dart encontrou um crânio fóssil de uma criança em Taung, na região africana onde hoje é a República do Botsuana, e deu-lhe o nome *Australopithecus africanus*. Ele descreveu características do fóssil que permitiam afirmar que o indivíduo era bípede. A mandíbula era mais parecida com a de um ser humano e sua caixa craniana era pequena como a de um macaco – exatamente o inverso do que era observado no homem de Piltdown.

O trabalho de Dart foi amplamente desqualificado por outros paleoantropólogos. Como o crânio encontrado por ele era de uma criança, cientistas da época afirmaram que provavelmente Dart havia

encontrado o crânio de algum primata anômalo, e não uma peça importante para o estudo da evolução humana. Desanimado, Dart abandonou suas pesquisas.

Em 1953, técnicas aprimoradas de estudo foram utilizadas para analisar o homem de Piltdown e descobriu-se que aquele “crânio fóssil” era uma fraude. Ele havia sido propositalmente montado com um crânio humano moderno e com a mandíbula de um orangotango, e havia recebido tratamento para assemelhar-se a um fóssil. Como os envolvidos na “descoberta” do homem de Piltdown estavam mortos àquela época, não se sabe certamente quem teria feito essa fraude, considerada a maior já ocorrida na história da Ciência.

Não podemos nos esquecer de que a Ciência é uma atividade humana e, portanto, sofre influência do contexto sociocultural, de ambições de alguns cientistas e da intenção desonesta de alguns fraudadores. No entanto, casos como o que descrevemos aqui são raros e não anulam a seriedade do trabalho de milhares de cientistas. Uma das bases da Ciência é o constante questionamento e a análise daquilo que é descrito ou observado por um cientista. Assim, os próprios cientistas foram capazes de descobrir a fraude do homem de Piltdown, assim como de verificar a autenticidade e a importância da descoberta de Dart.

Fontes:

LEWIN, R. *Human evolution: an illustrated introduction*. 5. ed. Blackwell Publishing, 2005 (em inglês).

HELLMAN, H. *Grandes debates da Ciência: dez das maiores contendas de todos os tempos*. Editora Unesp, 1999.



✓ Modelo do crânio do “homem de Piltdown”.

### DEPOIS DA LEITURA...

Veja comentários no Manual.

Converse com um colega a respeito das questões:

- Que fatores permitiram desmascarar a fraude do “homem de Piltdown”?
- Como os cientistas fazem para reconhecer pesquisas sérias e confiáveis?

A principal característica analisada por Dart foi o forame magno, uma abertura no crânio por onde passam nervos que comunicam o encéfalo com o bulbo. No ser humano, essa abertura se localiza na parte inferior do crânio, o que indica a postura ereta do corpo e o hábito bípede. Os quadrúpedes, por sua vez, possuem esse orifício localizado na região posterior do crânio.

## 2 Jane Goodall e a defesa dos chimpanzés

A britânica Jane Goodall, nascida em 1934, foi uma das pioneiras no estudo de comportamento e organização social de chimpanzés, sendo autora de muitos livros e artigos científicos. Tornou-se pesquisadora pela Universidade de Cambridge, na Inglaterra, mas passou grande parte de sua vida na Tanzânia, observando grupos selvagens de chimpanzés. Nesse processo, a pesquisadora passava muitos meses buscando aproximar-se dos chimpanzés, até conseguir fazer suas observações mais detalhadas das interações entre eles.

Ela foi a primeira a descrever o uso de ferramentas por chimpanzés, como a “pesca” de cupins em um cupinzeiro utilizando gravetos. Em suas observações, considera que a principal diferença entre o ser humano e os chimpanzés é a nossa linguagem sofisticada.

Desde 1977, ela é a diretora do Instituto Jane Goodall, sediado nos Estados Unidos. Além de incentivar mais estudos sobre os chimpanzés, essa instituição procura mobilizar a sociedade a respeito da conservação de primatas e outros seres vivos. Muitas espécies correm sério risco de extinção, principalmente as dos grandes primatas: orangotangos, gorilas e chimpanzés. A destruição de seu *habitat* e a captura ilegal desses animais são os principais fatores de ameaça.

Fontes:

Instituto Jane Goodall (em inglês). Disponível em: <<http://www.janegoodall.org>>. Acesso em: 4 fev. 2016.

TED - Palestra: Jane Goodall fala do que nos separa dos macacos. Disponível em: <[http://www.ted.com/talks/lang/pt/jane\\_goodall\\_on\\_what\\_separates\\_us\\_from\\_the\\_apes.html](http://www.ted.com/talks/lang/pt/jane_goodall_on_what_separates_us_from_the_apes.html)> (legendado). Acesso em: 4 fev. 2016.



^ A pesquisadora **Jane Goodall observando o comportamento de chimpanzés selvagens** em seu *habitat*, em um parque na Tanzânia, no ano de 2006. O contato dela com os chimpanzés foi possível após meses de cuidadosa aproximação.

### DEPOIS DA LEITURA...

a) Parentesco evolutivo próximo entre chimpanzé e ser humano.

- Jane Goodall iniciou seus estudos sobre chimpanzés com o famoso paleontólogo Louis Leakey. Ele pretendia obter dados que oferecessem pistas a respeito da evolução humana. Explique por que o estudo do comportamento de chimpanzés na natureza poderia auxiliar em pesquisas sobre a evolução humana.
- Descubra a(s) espécie(s) de primata mais comum(ns) em sua região e seu estado de conservação. Que ações poderiam garantir a sobrevivência de primatas ameaçados nessa área?

b) A resposta depende da região. Uma das ações fundamentais para preservação de primatas e outros animais nativos é a conservação de seu *habitat*.



1. a) Não, pois os dinossauros foram extintos ao final da Era Mesozoica (65 milhões de anos atrás) e os primeiros seres humanos surgiram muito tempo depois, há cerca de 100 mil anos.

## Revendendo e aplicando conceitos

1. b) Era Mesozoica, dividida nos períodos Triássico, Jurássico e Cretáceo. Com clima predominantemente quente, surgimento de muitos grupos de plantas terrestres e poucos mamíferos, que tinham pequeno porte.

1. São famosos os desenhos animados e filmes de ficção que mostram seres humanos pré-históricos convivendo com dinossauros.

a. Com base na história geológica da Terra, essa representação poderia ser real? Por quê?

b. Descreva algumas características da era geológica que ficou conhecida como “a era dos répteis”, em que existiram os dinossauros. 1. c) Para os historiadores, a pré-história é o período que antecede a invenção da escrita.

c. Consulte livros e converse com seu professor de História para saber qual é a definição de pré-história, para essa área do saber. Registre-a em seu caderno.

2. Cite algumas características que os seres humanos compartilham com os outros mamíferos e algumas características exclusivas da espécie.

3. Explique a relação entre evolução geológica e evolução biológica, exemplificando com um evento da história geológica da Terra. 3. Consulte o Manual.

4. “O berço da espécie humana é a África.” Só comente essa afirmação. 4. A afirmação está de acordo com as evidências fósseis encontradas.

5. Quais devem ter sido as vantagens da postura bípede e da posição frontal dos olhos para a sobrevivência dos hominídeos? Converse a respeito com um colega e depois consultem livros e sites de divulgação científica para verificar a validade de suas suposições. 5. Vantagens na localização de presas e predadores.

6. O registro fóssil indica que o corpo humano não apresenta modificações significativas há mais de 40 mil anos. No entanto, nos últimos 2 mil anos, tem ocorrido uma expansão numérica da espécie humana, jamais vista para nenhuma outra espécie.

6. a) O desenvolvimento cultural, tecnológico e científico.

a. Quais seriam as causas dessa expansão?

6. b) Resposta pessoal. Pode-se mencionar que as condições ▼

b. De que forma o(s) fator(es) que você apontou na resposta anterior pode(em) interferir na evolução de nossa espécie? Dê sua opinião. ► descritas na resposta ao item “a” aumentaram a perspectiva de vida.

7. Escolha uma das espécies de hominídeos fósseis apresentadas neste capítulo e procure mais informações a respeito dela, tais como:

7. Resposta pessoal. A resposta dependerá da espécie escolhida.

- onde os fósseis foram localizados;
- evidências de hábitos culturais ou comportamentos;
- prováveis causas de sua extinção.

Reúna-se com dois colegas que tenham pesquisado a respeito da mesma espécie e elaborem um cartaz ou uma apresentação no computador, para mostrar ao restante da turma o que vocês descobriram.

2. Características compartilhadas: pelos, glândulas mamárias, placenta. Características exclusivas: evolução cultural, volume cerebral relativamente maior, esqueleto adaptado à postura bípede.

8. A caixa craniana é maior no ser humano, relacionando-se ao maior tamanho do encéfalo. Nos humanos não há saliência na parte superior das órbitas oculares.

8. Observe as fotografias a seguir de um crânio humano e de um hominídeo bastante primitivo, do gênero *Australopithecus*.

Daniel Sambras/SPL/Latinstock



Pascal Goetgheluck/SPL/Latinstock



▲ Crânio de *Homo sapiens*. ▲ Crânio de *Australopithecus*.

Relacione as diferenças observadas entre o crânio humano e o crânio do australopithecíneo, quanto ao tamanho da caixa craniana e à região dos olhos (órbitas).

9. Reúna-se com um colega e façam uma pesquisa a respeito dos processos de fossilização. Em seguida, respondam:

9. a) Consulte o Manual.

a. Quais tipos de fossilização preservaram esqueletos e artefatos de hominídeos?

9. b) Resposta pessoal. Consulte o Manual.

b. Se vocês tivessem que demonstrar, com um procedimento experimental, um desses processos de fossilização, que materiais e procedimentos adotariam? Façam um esquema e, se possível, realizem a atividade, sob orientação do professor.

10. As reconstituições artísticas são ferramentas importantes no estudo da história da vida na Terra. Baseadas em dados do registro fóssil, auxiliam os cientistas a imaginar os cenários da Terra há milhões de anos. Essas representações também são importantes na divulgação dos estudos paleontológicos para a sociedade em geral.

No entanto, é preciso cuidado ao interpretar essas imagens, pois elas ilustram apenas alguns aspectos do período representado. A imagem abaixo, por exemplo, ilustra um provável cenário do período Terciário, destacando a presença do tigre-dente-de-sabre, mas naquele período também existiam outros animais, plantas e ambientes.

Análise a escala do tempo geológico mostrada nas páginas 264 e 265 e identifique mais um cuidado que se deve ter na análise das reconstituições artísticas.



Corbis RF/Glow Images

10. São utilizadas cores fantasia. Na Terra havia diversos tipos de ambientes: terrestres, marinhos, de água doce. Consulte o Manual.



11. b) A afirmação não é correta, pois a extinção é um processo existente ao longo do tempo. Nas extinções em massa (pontos destacados no gráfico), há um desequilíbrio, com uma quantidade muito maior de grupos extintos (maior que 75%).

## Trabalhando com gráficos

11. O gráfico ao lado mostra a quantidade (em %) de seres extintos, considerando os gêneros identificados no registro fóssil, ao longo dos últimos 500 milhões de anos. Estão destacados os 5 eventos de extinção em massa, aqueles em que pelo menos 75% dos gêneros foram extintos em um intervalo de tempo relativamente curto, de 1 ou 2 milhões de anos. 11. a) Ao final do Permiano.

a. Em qual período ocorreu a maior perda de biodiversidade no planeta?

b. A extinção de grupos de seres vivos ocorreu apenas nos pontos destacados no gráfico. Esta afirmação é correta? Por quê?

c. As linhas coloridas ao fundo do gráfico representam diferentes períodos do éon era Fanerozoico. Que períodos são esses?

11. c) Da esquerda para a direita: Cambriano, Ordoviciano, Siluriano, Devoniano, Carbonífero, Permiano, Triássico, Jurássico, Cretáceo, Terciário e Quaternário.

d. Após comparar os maiores eventos de extinção em massa, um grupo de cientistas liderado por Anthony Barnosky, da Universidade da Califórnia (EUA), buscou responder à seguinte pergunta: com tantas espécies ameaçadas na atualidade, estamos nos encaminhando para o sexto evento de extinção em massa? Eles encontraram dificuldades na análise, tais como:

11. d) O resultado obtido mostra que as taxas atuais de extinção ainda não alcançaram as taxas que caracterizam a extinção em massa (igual ou maior a 75%).

- o principal banco de dados que relaciona as espécies ao risco de extinção contém informações de apenas 3% das espécies conhecidas;
- as extinções recentes são medidas em décadas e séculos, enquanto as extinções em massa foram eventos que duraram entre 1 e 2 milhões de anos cada uma.

Com as informações disponíveis, Barnosky e colegas utilizaram uma simulação matemática para comparar a taxa atual de extinção de vertebrados com as dos eventos de extinção em massa. O gráfico ao lado mostra esses dados para anfíbios e apresenta uma estimativa: mantendo-se o ritmo de extinção, em pouco tempo cerca de 75% das espécies do grupo estarão extintas. Analise o gráfico e explique se o grupo dos anfíbios está passando por uma extinção em massa.

e. Barnosky e colegas concluíram a pesquisa fazendo um alerta: se medidas de conservação não forem tomadas, em alguns séculos a biodiversidade em nosso planeta pode sofrer enorme perda. Cite uma medida conservacionista que poderia colaborar com a conservação de pelo menos uma espécie ameaçada em sua região, justificando sua escolha.

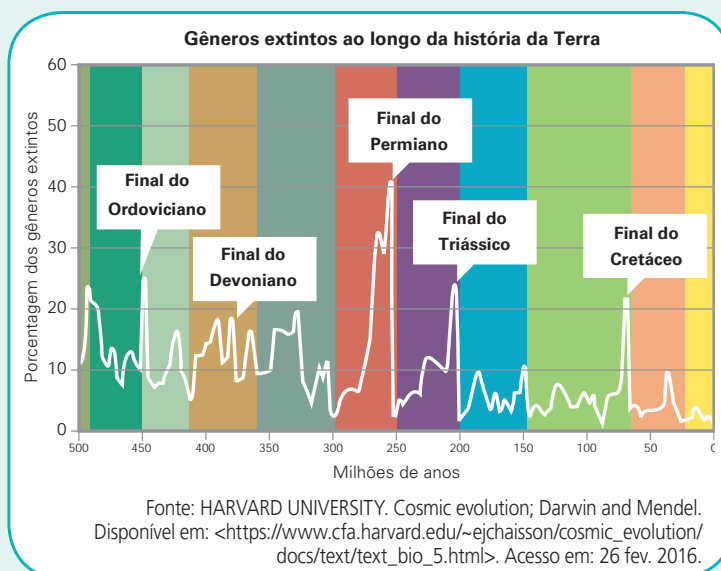
11. e) Resposta pessoal.

Saiba mais em:

KELLNER, A. A caminho de uma extinção em massa?

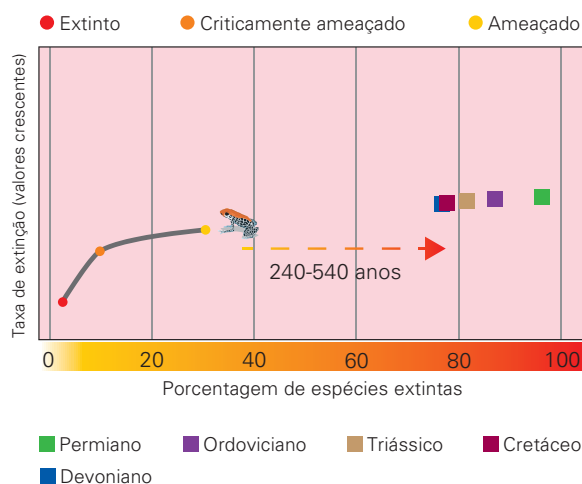
*Ciência Hoje*, 15 mar. 2011. Disponível em: <<http://cienciahoje.uol.com.br/colunas/cacadores-de-fosseis/a-caminho-de-uma-extincao-em-massa>>.

Acesso em: 7 fev. 2016.



Selma Caparroz/Arquida editora

### Taxa de extinção em anfíbios: presente, passado e estimativa para o futuro



Adaptado de: BARNOSKY, A. D. et al. Has the Earth's sixth mass extinction already arrived? *Nature* 471, 3 mar. 2011, p. 51-57.

Eduardo Borges/Arquivo da editora

12. a) *Australopithecus anamensis*: entre 4,5 e 4 milhões de anos atrás. *Homo rudolfensis*: entre 2,5 e 2 milhões de anos atrás.

12. b) *Homo erectus* está presente no registro fóssil por cerca de 1 milhão de anos, e *H. sapiens* existe há cerca de 150 mil anos.

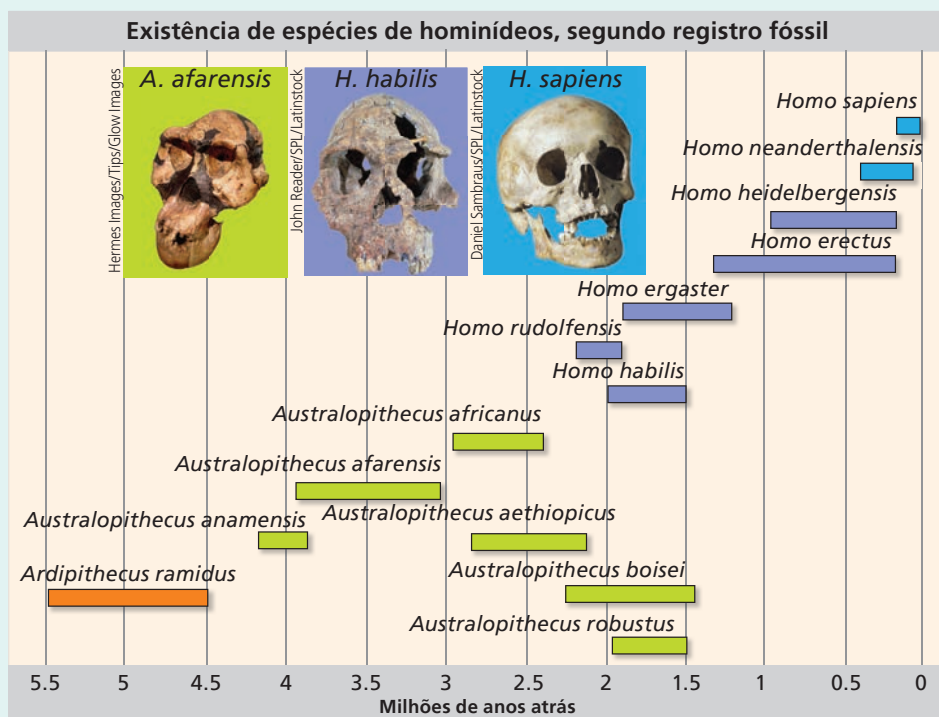
12. Analise o gráfico a seguir, que apresenta diversos grupos de homínídeos já estudados e o intervalo de tempo em que provavelmente existiram, de 5,5 milhões de anos atrás até o tempo presente (0).

Responda:

a. De acordo com o gráfico, qual é o registro mais antigo de um australopithecíneo? E de um exemplar do gênero *Homo*?

b. Compare o período de existência da espécie *Homo sapiens* com a de *Homo erectus*, conhecida pelo registro fóssil.

c. Elabore algumas explicações para a sobrevivência dos atuais seres humanos e depois compare suas suposições com o que dizem os cientistas, consultando livros, revistas e sites de divulgação científica.



Adaptado de: MADER, S. *Concepts of Biology*. 2. ed. McGraw Hill, 2011, p. 416.

13. a) São locais onde há vestígios de ocupação humana (ossadas, ferramentas, pinturas rupestres etc.), de civilizações ou povos já extintos.

## Ciência, Tecnologia e Sociedade

13. A fotografia abaixo mostra Niede Guidon, arqueóloga brasileira conhecida mundialmente e uma das responsáveis pela criação do Parque Nacional da Serra das Capivaras, no Piauí, que abriga sítios arqueológicos.



André Pessoa/Arquivo FUMDHAM

^ Niede Guidon, cientista brasileira.

a. Faça uma pesquisa para descobrir qual é o significado do termo "sítio arqueológico" e anote uma definição em seu caderno.

13. b) Consulte o Manual.

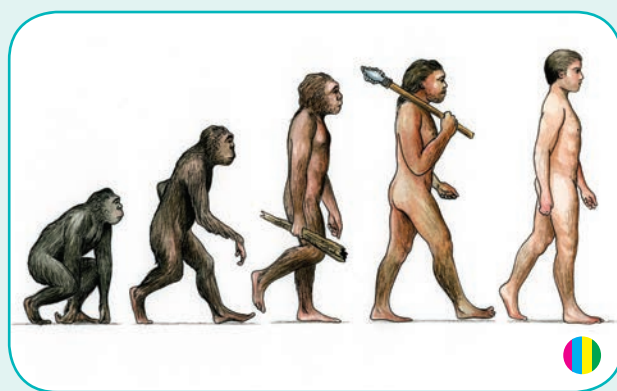
b. Consulte a internet para descobrir quantos sítios arqueológicos foram identificados, até o momento,

13. c) Os fósseis fazem parte do patrimônio cultural da humanidade, e são fontes importantes de dados científicos. O comércio ilegal prejudica a preservação e o estudo dos sítios arqueológicos.

no Brasil e faça uma lista com seis deles, fornecendo seu nome e localização.

c. Escreva um pequeno texto em seu caderno denunciando o comércio ilegal de fósseis, argumentando com base na importância desses objetos para a construção da história do nosso planeta.

14. Analise criticamente a ilustração abaixo.



The Print Collector/Corbis/Latinstock

Essa representação está correta de acordo com o conhecimento científico atual a respeito da evolução da espécie humana? Por quê?

14. Não, pois a evolução não é um processo linear e progressivo e o ser humano não desce diretamente de nenhum primata antropoide.

## Questões do Enem e de vestibulares

15. b

15. (UFPI) A evolução biológica, amplamente aceita pelos cientistas, é a melhor explicação para a enorme variação dos organismos vivos. No entanto, muitas pessoas leigas ainda se sentem confusas em relação à teoria da evolução. Assinale a alternativa que melhor responderia, com base na Teoria de Darwin, à seguinte indagação cética: “Se o homem veio do macaco, por que ainda existem macacos hoje?”.

- Algumas espécies de macacos sofreram pressões seletivas diferentes, porém, certamente convergiram também para a espécie humana.
  - O homem não evoluiu dos macacos modernos, mas compartilhou com eles um ancestral comum, uma espécie que não existe mais.
  - Os macacos modernos, apesar de pertencerem a espécies diferentes da humana, possuem carga genética muito semelhante.
  - Os macacos modernos são produtos de uma evolução inacabada, enquanto o homem já atingiu o seu ápice.
  - Os macacos modernos certamente não chegaram a cruzar com os humanos.
16. (Enem-2006) Segundo a explicação mais difundida sobre o povoamento da América, grupos asiáticos teriam chegado a esse continente pelo Estreito de Bering, há 18 mil anos. 16. e

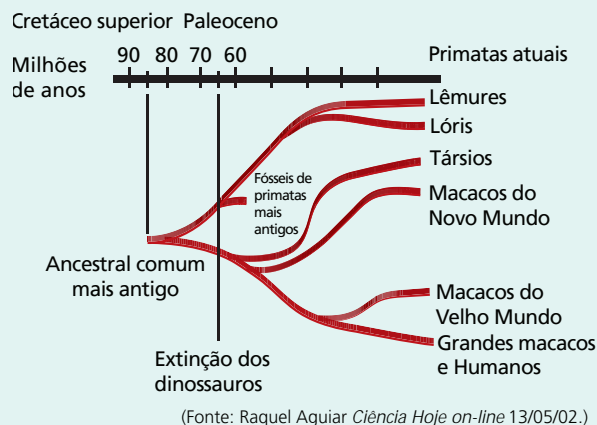
A partir dessa região, localizada no extremo noroeste do continente americano, esses grupos e seus descendentes teriam migrado, pouco a pouco, para outras áreas, chegando até a porção sul do continente.

Entretanto, por meio de estudos arqueológicos realizados no Parque Nacional da Serra da Capivara (Piauí), foram descobertos vestígios da presença humana que teriam até 50 mil anos de idade. Validadas, as provas materiais encontradas pelos arqueólogos no Piauí:

- comprovam que grupos de origem africana cruzaram o oceano Atlântico até o Piauí há 18 mil anos.
- confirmam que o homem surgiu primeiramente na América do Norte e, depois, povoou os outros continentes.
- contestam a teoria de que o homem americano surgiu primeiro na América do Sul e, depois, cruzou o Estreito de Bering.
- confirmam que grupos de origem asiática cruzaram o Estreito de Bering há 18 mil anos.

- contestam a teoria de que o povoamento da América teria iniciado há 18 mil anos.

17. (Enem-2005) Foi proposto um novo modelo de evolução dos primatas elaborado por matemáticos e biólogos. Nesse modelo o grupo de primatas pode ter tido origem quando os dinossauros ainda habitavam a Terra, e não há 65 milhões de anos, como é comumente aceito.



Examinando esta árvore evolutiva podemos dizer que a divergência entre os macacos do Velho Mundo e o grupo dos grandes macacos e de humanos ocorreu há aproximadamente

- 10 milhões de anos.
  - 40 milhões de anos.
  - 55 milhões de anos.
  - 65 milhões de anos.
  - 85 milhões de anos.
18. (Unesp) A postura ereta e a locomoção bípede são características exclusivas dos seres humanos. Uma questão fundamental no entendimento da evolução humana é compreender como os humanos e seus ancestrais adquiriram o bipedalismo. Uma equipe internacional de pesquisadores descobriu, no Quênia, pegadas deixadas na lama há 1,5 milhão de anos por um indivíduo com um estilo moderno de andar. Segundo os pesquisadores, o tamanho, a profundidade das pegadas e o espaçamento entre elas refletem a altura, o peso e o modo de caminhar atual.
- Em 1978, foram descobertas na Tanzânia pegadas de 3,7 milhões de anos, mas com uma anatomia que indica um indivíduo menor, de pernas curtas e de tronco longo, identificado como *Australopithecus afarensis*.
- (Revista Pesquisa FAPESP, março de 2009. Adaptado).
- Os achados paleontológicos indicam uma transição na evolução humana, que teria acontecido entre 3,7 e 1,5 milhões de anos atrás. Com relação à ocupação do ambiente, em que os indivíduos do Quênia poderiam diferir daqueles da Tanzânia?

18. Por apresentarem porte maior, os indivíduos do Quênia poderiam se distribuir por um território mais amplo, favorecendo a dispersão do grupo.



## A

**a:** do grego *a* = sem, prefixo de negação

**an:** do grego *an* = não, prefixo de negação

**andro** (ou **ândrico**): do grego *ander* = relativo ao sexo masculino

**auto:** do grego *autos* = próprio; de si mesmo

## B

**bio:** do grego *bio* = vida

## C

**cito:** do grego *kytos* = célula

**chromo:** do grego *kroma* = cor

## D

**dactilia:** do grego *dáktylos* = dedo

**derme:** do grego *derma* = pele

**di:** do grego *di* = dois, duas

**diplo:** do grego *diploos* = duplo, dois

## E

**ecto:** do grego *ektos* = externo

**endo:** do grego *endon* = interno

**epi:** do grego *epi* = em cima; sobre

**eritro:** do grego *erythros* = vermelho

**exo:** do grego *exo* = externo

## F

**filo:** do grego *phûlon* = tribo, raça; usado no sentido de parentesco

**fisio:** do grego *physis* = natureza; usado no sentido de função

**fobia:** do grego *phobía* = medo; rejeição

**foto:** do grego *photos* = luz

## G

**gastro:** do grego *gaster* = relativo ao estômago

**gênese** (ou **genia**): do grego *genes* = origem; nascer

**gênico(a):** do grego *genos* = descendência; que dá origem

**glico:** do grego *glucus* = doce

## H

**hemo:** do grego *haima* = sangue

**hepato:** do grego *hepatikos* = relativo ao fígado

**heredo:** do grego *heres* = herdeiro; herança

**hetero:** do grego *heteros* = diferente

**hidro:** do grego *hydor* = água

**hiper:** do grego *hyper* = sobre; maior

**hipo:** do grego *hypo* = sob; menor

**histo:** do grego *histos* = tecido

**holo:** do grego *holos* = todo

**homo** (ou **homeo**): do grego *homoios* = semelhante; parecido

## I

**iso:** do grego *isos* = igual

## L

**lise:** do grego *lysis* = quebra; separação; rompimento

**logia:** do grego *logos* = discurso; estudo

## M

**mio:** do grego *myo* = músculo

**mono:** do grego *mono* = único

## O

**osteo:** do grego *osteo* = osso

## P

**podes:** do grego *podes* = pés

**poli:** do grego *polys* = muitos(as)

## R

**ragia:** do grego *raghia* = derramamento; fluxo

## S

**sacaro:** do grego *sakcharon* = açúcar

**síntese:** do grego *synthesis* = reunião; composição; formação

**soma** (ou **somo**): do grego *soma* = corpo

## T

**telo:** do grego *telos* = fim

**tecno:** do grego *techno* = técnica

**termo** ou **térmico(a):** do grego *therme* = calor

**tri:** do grego *tria* = três

## U

**uni:** do latim *uni* = um; uma

## V

**vascular:** do latim *vasculum* = relativo a vaso

## Z

**zigoto:** do grego *zygotos* = unido

## A

ácido ribonucleico, 201, 204  
 aclimação, 104  
 acomodação visual, 41, 50  
 ACTH (hormônio estimulador das glândulas adrenais), 111, 114  
 actina, 22, 67  
 adaptação, 230, 250, 255, 261  
 adenoipófise, 110-111, 114-115, 122  
 ADH (hormônio anti-diurético), 102, 112, 125  
 adrenalina, 113  
 aglutinação, 156-160  
 aglutinina, 157-159  
 aglutinogênio, 157  
 agonista, 20  
 aguti, 153-154, 181-182  
 albino, 153, 182, 184  
 albinismo, 160, 184  
 alelo(s), 135-146, 152-156, 160, 165-166, 168-171, 178-194, 211, 245-247, 249-252  
     - múltiplos, 153, 178  
 alvéolo(s) pulmonar(es), 81-83, 85-88, 93  
 amilase  
     - pancreática, 63  
     - salivar, 60  
 anagênese, 253-254  
 analogia, 225-226, 274  
 anatomia, 11  
 androgênios, 113  
 anemia ferropriva, 69  
 antagonista, 20  
 anticódon, 204  
 anticorpo(s), 66-67, 95, 97-99, 111, 156-159, 161, 211  
 antidoping, 126

antígeno, 97-99, 156-159, 161, 211  
 aparelho locomotor, 13  
 artéria(s), 68, 86, 91-93, 103, 238  
 articulação(ões), 13, 16-20  
     - imóveis, 17  
     - móveis, 17-19  
     - semimóveis, 17-18  
 aterosclerose, 68  
 ato reflexo, 33, 35  
 ATP (adenosina trifosfato), 22, 66  
 átrio(s), 91, 93  
 australopithecíneos, 268-270, 274  
*Australopithecus*, 269-270, 274  
 autofecundação, 132, 134-136, 247  
 autossomos, 189, 192  
 avitaminoses, 68

## B

baço, 95, 97  
 basófilo(s), 95  
 bastonete(s), 41, 193  
 bigorna, 43  
 bile, 63  
 biotecnologia, 173, 208, 212  
 bolo alimentar, 59-61, 65  
 bronquíolo(s), 81-83, 85-86  
 brônquio(s), 36, 60, 81-83, 85-86  
 bulbo, 33, 37, 86

## C

caixa torácica, 14, 81, 85  
 calcitonina, 112-113  
 caloria(s), 74-75

camisinha, 74, 120, 123  
 canais semicirculares, 43-44  
 canal auditivo, 43  
 capilar(es), 87, 92  
     - sanguíneos 81, 86-87, 89, 92-93, 97, 102, 161  
     - linfáticos 97  
 cápsula renal, 101-102  
 características hereditárias, 132, 200, 231, 246, 250  
 carbo-hemoglobina, 88  
 carboidrato(s), 45, 55, 57, 62-63, 66-67, 73-74, 125  
 catalisador(es), 56  
 cavidade nasal, 60-61, 81-82, 85-86  
 célula(s), 12, 55, 66-67, 80, 87, 93, 95, 100, 210-213  
     - de memória, 99  
     - diploide, 138-139, 152, 166  
     - endotelial(is), 68  
     - epitelial, 46, 64, 82  
     - haploide(s), 137-138, 171, 185, 188-189, 193  
     - muscular, 21-22, 24, 90  
     - nervosa, 23, 31, 33, 37  
     - óssea(s), 16  
     - receptora, 37  
     - sanguínea (do sangue), 16, 68, 92-94, 102  
     - sensorial(is), 44  
     - somática(s), 137, 155, 194, 210, 246  
     - vegetal(is), 65, 210  
 célula-ovo, 120, 137  
 célula(s)-alvo, 109  
 celulase, 65  
 célula(s)-tronco, 195  
 celulose, 65  
 centro respiratório, 86, 88-89

cerebelo, 32-33, 35, 44  
 cérebro, 32-35, 38, 41, 44-46, 51, 102  
 Charles Darwin, 148, 231, 236, 239  
 chinchila, 153-154  
 circulação  
     - linfática, 97  
     - pulmonar, 93  
     - sanguínea, 80, 109  
     - sistêmica, 93  
 cladogênese, 253-254  
 cladograma, 228-229, 254  
 clonagem, 208, 212-213  
 clone(s), 212-213  
 coagulação sanguínea, 68, 95, 191  
 coágulo(s), 96, 191, 201  
 cóclea, 43-44  
 código genético universal, 204, 206  
 codominância, 144, 154, 156  
 códon, 204-208  
     - de iniciação, 205-206  
 colesterol, 67-68, 109  
 colo uterino, 117  
 condiloma acuminado, 121  
 cone(s), 41, 193  
 conjunto gênico, 245-252  
 contracepção, 122  
 convergência evolutiva, 225  
 coração, 14, 81, 90-93  
 córnea, 40, 50  
 corpo(s), 11, 19, 31, 33  
     - amarelo, 115  
     - cavernoso(s), 119  
     - celular, 31, 34, 37  
     - humano, 11-13, 25  
     - lúteo, 115  
 corpúsculo de Barr, 194  
 córtex  
     - cerebral, 32-33, 41

- renal, 101
- da adrenal, 113

**cristalino**, 40-41

**cromossomo(s)**, 132, 135, 138-139, 146, 152, 154-155, 165, 168-169, 171, 190-191, 194, 200, 247

- homólogo(s), 135, 138-139, 146, 152, 155, 165, 168-169, 171, 179-187, 189

- sexual(sexuais), 189, 195

**cruzamento-teste**, 141

**curvatura cervical**, 26-27

## D

**daltonismo**, 190-191, 193

**deferentectomia**, 122

**deglutição**, 59-61, 82-83

**dente(s)**, 17, 59, 74

**deriva genética**, 250

**desnaturação**, 57, 100, 200

**desnutrição**, 71, 75

**dextrina(s)**, 60

**diabetes**, 68, 114, 125, 209

- insípido, 112, 125

- mellitus tipo I, 113, 125

- mellitus tipo II, 125

**diafragma** (método contraceptivo), 123

**diafragma** (músculo respiratório), 23, 81, 85-86

**diástole**, 91, 103

**diencéfalo**, 32

**dieta**, 72

**difusão**, 81, 87, 89, 92

**digestão**, 55-56, 58-60, 62-65

- intracelular, 95

**di-híbrido**, 166-168, 179-182, 186-187

**disco intervertebral**, 18

**dispositivo intrauterino (DIU)**, 123

**divergência evolutiva**, 236

**divisão**

- parassimpática, 36, 48, 114
- simpática, 36, 44, 114

**DNA**, 55, 132, 201-203, 206, 216, 246-247

- ligase, 209

- recombinante, 209

**doença sexualmente transmissível (DST)**, 74, 120, 123-124

**dominância intermédia**, 143

**dominante**, 135-138, 140-146, 148, 160, 179, 181-182, 185-186, 190-194

**droga(s)**, 48-49, 74

**duodeno**, 62-65, 109

**dura-máter**, 34

## E

**ejaculação**, 36, 119-120, 124

**elementos figurados do sangue**, 94, 96

**embriologia**, 239

**encéfalo**, 14, 17, 31-38, 51, 268, 275

**endométrio**, 113, 116-117, 119, 123-124

**engasgo**, 61

**engenharia genética**, 132, 200, 208-210, 212, 214, 227

**enzima(s)**, 55-57, 64, 207, 209

- de restrição, 209, 214, 216

- digestiva(s), 59, 63

**eosinófilo(s)**, 95

**epiglote**, 60-61

**epistasia**, 180-183

**epitélio olfatório**, 45-46

**eritroblastose fetal**, 161

**eritropoietina**, 126

**escala de tempo geológico**, 262

**esclera**, 40-41

**esfigmomanômetro**, 103

**esôfago**, 12, 58, 60-62

**especiação**, 244, 252-254

**espécie**, 222-223, 228-240, 244, 249, 253

**esqueleto**, 14-15, 261, 268-270, 274

- apendicular, 14-15

- axial, 14, 31

- ósseo, 14

**estômago**, 12, 58, 61-63, 65

**estribo**, 43

**estrogênio**, 113

**estrógeno**, 67, 113, 115-116

**evolução convergente**, 236

**excreção**, 101

**excreta(s) nitrogenada(s)**, 101

**expiração**, 81, 85-87

## F

**faringe**, 60-61, 81-83, 85

**fator D**, 142

**fator Rh**, 142, 158, 161

**fator(es) evolutivo(s)**, 234, 245-246

**febre**, 100

**fecundação cruzada**, 134-135, 247

**feedback**, 114-115

**fenótipo**, 136-138, 140-143, 146-147,

153, 156, 160, 167-169, 180-188, 194, 245-249

**fibra(s)**

- alimentar(es), 65

- muscular, 21-23

**fibrina**, 95-96

**fibrinogênio**, 95-96

**fígado**, 36, 58, 63-64, 66-67, 69, 89, 95-96, 101, 113-114, 126

**filogenia**, 239

**filoquinona**, 68, 96

**filtração do sangue**, 101-102

**fisiologia**, 11

**fixismo**, 240

**fluxo gênico**, 247-248

**folículo ovariano**, 115-117, 120, 122

**fosfocreatina**, 22, 24

**fóssil(fósseis)**, 16, 224-225, 261-263, 265-272, 274-275

**fotorreceptores**, 37, 40-41, 193

**frequência cardíaca**, 49, 80, 91, 104

**FSH** (hormônio estimulador dos folículos ovarianos), 111, 115-116, 118, 122

## G

**Galápagos**, 233-236

**gânglio(s)**

- nervoso(s), 35-36

- parassimpático(s), 36

- simpático(s), 36

**gastrina**, 65

**gene(s)**, 132, 135, 137, 146-147, 154, 160, 168-169, 184-190, 195, 201-213, 215, 227, 244-248, 251, 256



**genealogia**, 140  
**genética**, 132, 152, 172, 178  
 - de populações, 244, 250-251  
**genoma**, 184, 210-211, 215, 247  
**genótipo(s)**, 136-140, 142-147, 152-154, 156, 160, 165-169, 179-183, 186-188, 190-192, 200, 213, 231, 244-245, 247, 249-251  
**geração parental**, 134  
**GH** (hormônio do crescimento), 111-112, 126  
**glândula(s)**, 33, 60, 113-114, 118  
 - adrenal(is), 110-111, 113-114  
 - anexa(s), 63  
 - bulbouretral, 118-119  
 - endócrina(s), 31, 109-110  
 - estomacal(is), 65  
 - exócrina(s), 109  
 - hipófise, 33, 102, 110, 114-115  
 - mamária(s), 111-112, 263  
 - mista, 63, 109  
 - paratireoidea(s), 110, 113  
 - pineal, 33  
 - tireoidea, 68, 111-114  
 - salivar(es), 58, 60, 65  
 - sudorípara(s), 39, 100  
 - vesiculosa(s), 118-119  
**glicemia**, 113-114, 125  
**glicocorticoide(s)**, 113  
**glicogênio**, 22, 66, 113-114  
**glóbulo(s)**  
 - branco(s), 94-95, 98  
 - vermelho(s), 88, 94-95

**glomérulo**, 101-102  
**glucagon**, 113-114  
**glutamato monossódico**, 47  
**gonadotropina coriônica**, 102, 116  
**gonorreia**, 121  
**Gregor Mendel**, 132, 148  
**grupo monofilético**, 229  
**grupo(s)-irmão(s)**, 229  
**gustação**, 45

## H

**hemofilia**, 96, 190-192  
**hepatite C**, 120-121  
**herança**  
 - holandrica, 189  
 - ligada ao sexo, 189-191, 193-194  
 - ligada ao X, 189-190, 193  
 - ligada ao Y, 189-190  
 - quantitativa, 180, 182-184  
**hereditariedade**, 125, 132, 148, 178, 184, 231, 244  
**heredograma**, 140-141  
**herpes genital**, 121  
**heterozigótico**, 136, 138, 140-141, 143-144, 156, 166, 192  
**híbrido(s)**, 135, 137-138, 144, 156, 166-169, 171  
**hidrólise**, 56-57, 62  
**himalaia**, 153-154  
**hipertireoidismo**, 112  
**hipocampo**, 46  
**hipófise**, 33, 111-112  
**hipotálamo**, 32, 100, 102, 109-110, 112, 114  
**hipotireoidismo**, 112  
**homeostase**, 38  
**hominídeo(s)**, 263, 266, 268-272, 274-275

**Homo erectus**, 270  
**Homo ergaster**, 270  
**Homo habilis**, 270  
**Homo sapiens**, 256, 268-272, 274  
**homologia**, 226-227  
**homozigótico**, 136-138, 140-141, 144, 146, 154, 156  
**hormônio(s)**, 31-33, 63, 65-67, 90, 109-116, 118-119, 122, 126  
 - antidiurético (ADH), 102, 125  
 - do crescimento (GH), 126  
 - estimulador das glândulas adrenais (ACTH), 111, 114  
 - injetável(is), 122  
 - luteinizante (LH), 111, 115  
 - sexual(is), 113  
 - sintético(s), 122-123

## I

**íleo**, 63  
**imunidade**, 98-99, 121  
**imunização**  
 - ativa, 99  
 - passiva, 99  
**inspiração**, 81-82, 85-86  
**insulina**, 113-114, 125, 209  
**interação gênica**, 178-183  
**intestino**,  
 - delgado, 58, 61, 63-64, 227  
 - grosso, 58, 65, 227  
**íris**, 40-41  
**irradiação adaptativa**, 236  
**isolamento reprodutivo**, 252-253

## J

**janela oval**, 43-44  
**Jean-Baptiste Lamarck**, 230  
**jejuno**, 63  
**junções neuromusculares**, 23

## L

**laqueadura**, 122  
**laringe**, 60-61, 81-82, 85-86  
**lente**, 40-41, 50  
**leucócito(s)**, 94-95, 98  
**ligação gênica**, 184-188  
**linfa**, 97, 99  
**linfócito(s)**, 95, 97-99  
**linfogranuloma venéreo**, 121  
**linfonodo(s)**, 97  
**lipase(s)**, 56, 63-64  
**lipídio(s)**, 16, 55-57, 62-64, 66-68  
**líquido**  
 - cefalorraquidiano, 34  
 - cerebroespinhal, 34  
 - intersticial, 87, 97  
**loco(s) gênico(s)**, 135, 146, 178, 181, 188, 247

## M

**macrófago(s)**, 83, 95, 98-100  
**macromolécula(s)**, 55-56  
**maltose**, 60, 64  
**martelo**, 43  
**mastigação**, 59-60  
**matriz extracelular**, 16-17  
**meato acústico externo**, 43

## medula

- da adrenal, 113
- espinhal, 14, 31-36, 86
- oblonga, 32-33, 86, 89, 91
- óssea amarela, 15-16
- óssea vermelha, 15-16, 94-97

## melatonina, 33

## membrana(s), 34, 48, 55, 64, 87

- plasmática, 37, 98, 142, 155
- timpânica, 43

## menarca, 115, 192

## meninge(s), 34

## metabolismo celular, 12, 109, 215

## menopausa, 116

## menstruação, 115-117, 192

## microvilosidade(s), 64

## migração, 216, 246-248, 270, 272, 274

## mineralocorticoide(s), 113

## miócito, 22

## miofibrila(s), 21-22, 24

## miosina, 22, 67

## monoibridismo, 141-143, 155, 165, 169, 171

## monóxido de carbono, 89, 124

## morganídeo(s), 188

## músculo(s), 13-14, 18-24, 33, 35, 41, 85-86, 91, 92, 100

## mutação(ões), 207-208, 216, 244, 248, 256

- gênica(s), 207, 246-247, 252, 255
- recessiva, 184

## N

## neandertal(is), 268, 271, 275

## neodarwinismo, 245

## nervo(s), 31, 34-38, 44, 48, 114

- coclear, 43-44
- motor, 23
- olfatório, 45-46
- óptico, 41
- sensoriais, 38

## neuroipófise, 110, 112

## neurotransmissor(es), 23, 37, 48

## neutrófilo(s), 95, 98

## noradrenalina, 36, 48, 91

## nuclease(s), 56, 63

## nucléolo, 203

## nutriente(s), 55, 63-64, 66, 71, 73

## O

## ocitocina, 112

## olfato, 45-46, 83

## ontogenia, 239

## orelha, 43-44

## organismo(s), 12

- geneticamente modificados (OGM), 208-209

## órgão(s), 12, 36

- dos sentidos, 37-38
- espiral, 44
- linfoide(s), 97
- vestigial(is), 227

## osso(s), 11, 13-20, 25-26, 226, 261, 268

## osteoblasto(s), 16-17

## osteócito(s), 17

## osteoclasto(s), 17

## osteoporose, 17

## ovário(s), 110-111, 113, 115, 117, 119-120

## ovulação, 115-116, 119-120, 122-124

## oxiemoglobina, 88

## P

## paladar, 45-46

## palato mole, 59-61

## paleoantropologia, 274-275

## pâncreas, 12, 58, 63, 109-110, 113

## papila(s), 45

## paratireóideas, 110, 113

## paratormônio, 113

## parentesco evolutivo, 210, 222-229

## parte

- central do sistema nervoso, 23, 29, 31-38, 48, 100, 109
- periférica do sistema nervoso, 31, 34-36

## pavilhão auricular, 43, 145, 192

## penetrância, 160

## pepsina, 57, 62

## peptidase(s), 64

## percepção, 38

## peristaltismo, 61, 65

## permutação, 184, 187-188, 247

## pH, 57, 60, 62-65, 86, 119-120

## pia-máter, 34

## plaqueta(s), 94-96

## plasma, 87-88, 94-96, 102, 157, 159, 161

## plasmócito(s), 99

## pleiotropia, 178-179, 246

## pleura, 81

## polegar oponível, 266

## polialelia, 152-155, 245

## polidactilia, 146, 160

## polimorfismos genéticos, 216

## polipeptídeo(s), 63, 200

## polirribossomo, 206

## polisssomo, 206

## população, 237, 244-254

## postura bípede, 268

## potencial biótico, 237

## prega(s) vocal(is), 60, 82

## preservativo, 123

## pressão

- arterial, 103
- parcial, 87-88
- sanguínea, 48, 83, 91, 103

## primata(s), 256, 261, 265-268, 272, 275-276

## Primeira Lei de Mendel, 132-133, 139-142, 144, 154-155, 159, 169, 171, 179

## processo evolutivo, 222, 235, 238, 240, 248, 253, 255, 273

## progesterona, 113, 115-116, 122, 124

## Projeto Genoma Humano, 210, 215

## prolactina, 111-112

## protease(s), 63

## proteína(s), 22-23, 37, 55-57, 60, 62-63, 67, 200-204, 206-210, 215

## protrombina, 95-96

## ptialina, 60

## pulmão(ões), 81-83, 85, 87-89, 91, 93, 98

## pulsção, 80, 103

## pupila, 23, 36, 40-41

## Q

## quadro de Punnett, 138, 140

## quilo, 64-65

## quimo, 61, 63

## R

## radiografia, 25-26

## raios X, 25-26

## receptor(es), 37

**recessivo**, 113, 135-138, 140, 144, 146, 153, 156, 165, 171, 179, 181-182

**recombinação gênica**, 187, 246-248, 252, 254

**remodelamento ósseo**, 16

**reprodução**

- assexuada, 244, 253
- sexuada, 247, 253

**resistência do meio**, 237

**respiração**, 60-61, 80-82, 86, 88

- aeróbia, 22
- celular, 24, 66, 81, 87

**retículo sarcoplasmático**, 21-22

**retina**, 37, 40-42, 50

**rim(rins)**, 102, 109,

**RNA**, 201-208

- mensageiro (RNAm), 201-208, 215
- polimerase, 202
- ribossômico (RNAr), 203
- transportador (RNAt), 204-206

## S

**sais minerais**, 16, 55-56, 63-66, 69, 73, 101-102

**saliva**, 46, 59-60, 65, 73

**sangue**, 15-16, 22, 24, 81, 86-97, 94, 101-104, 109-110, 112-117, 119-120, 125-126, 155, 157-161

**sarcômero(s)**, 22-23

**saúde bucal**, 73-74

**Segunda Lei de Mendel**, 165, 168-169, 171, 179-181, 186, 188

**Segurança Alimentar e Nutricional**, 71

**seleção**

- artificial, 208, 234, 249
- natural, 148, 231-238, 240, 244-246, 248-250, 252, 254-255, 261, 273
- sexual, 249

**sêmen**, 119-120, 122-123

**sífilis**, 120-121

**sinapse**, 23, 37, 48

**síndrome da imunodeficiência adquirida (aids)**, 121

**sistema(s)**, 12

- ABO, 153, 155, 157-160
- articular, 13, 17
- cardiovascular, 90, 93, 97
- de reparo, 207
- de retroalimentação, 114
- digestório, 12, 55-56, 58, 63, 65, 90, 227, 233
- esquelético, 13-14
- genital feminino, 117, 119
- genital masculino, 113, 118
- imunitário, 98-99, 156, 211
- muscular, 13, 19
- nervoso, 23, 31-38, 48-49, 109, 114
- respiratório, 60-61, 81, 83, 85, 90
- Rh, 142, 155, 158-159
- XY, 193

**sístole**

- atrial, 91
- ventricular, 90-91

**sítio ativo**, 56-57

**subnutrição**, 71

**suco**

- entérico, 64

- gástrico, 61-62, 65
  - intestinal, 64
  - pancreático, 63
- suprarrenal**, 113

## T

**T3 (tri-iodotironina)**, 112, 114

**T4 (tiroxina)**, 112, 114

**tálamo**, 32

**tato**, 39-40

**taxa metabólica**, 100

**tecido(s)**, 12-13, 87, 91-93, 95, 97-100

- adiposo, 66
- cartilagenoso, 20
- conjuntivo, 16, 60
- conjuntivo fibroso, 17
- muscular estriado esquelético, 19
- nervoso, 31, 34, 48
- ósseo, 16
- pulmonar, 83

**temperatura**, 57

**tempo geológico**, 240, 262

**tendão(ões)**, 20

**teoria sintética da evolução**, 244-245, 250

**terapia gênica**, 208, 211-212

**testículo(s)**, 110-111, 113, 118-119

**testosterona**, 67, 111, 113, 118, 122, 126

**tétrade**, 187

**timo**, 97

**tímpano**, 43

**tradução**, 201-204, 206

**transcrição**, 201-204

**transformismo**, 240

**transfusão(ões) de sangue**, 159

**transgênico(s)**, 208-209, 212

**transpiração**, 24, 100

**transtorno alimentar**, 75

**traqueia**, 58, 60-61, 81-83, 85-86

**tricomoniase**, 121

**tripsina**, 63

**tronco encefálico**, 32-33, 35

**TSH (hormônio estimulador da glândula tireóidea)**, 111, 114

**tuba uterina**, 115, 117, 120, 122

**túbulo(s) néfrico(s)**, 102

## U

**ureia**, 101-102

**urina**, 101-102, 112, 116-119, 125-126

**útero**, 89, 112-113, 115-117, 119-124

## V

**vacina gênica**, 211

**vagina**, 117, 119, 122-124

**vaso(s) linfático(s)**, 97

**veia(s)**, 90-93, 97, 103

**ventrículo(s)**, 91-92, 103

**vesícula biliar**, 58, 63

**via(s) urinífera(s)**, 102

**vilosidade(s)**, 64

**vinculação gênica**, 171, 184

**visão**, 32, 40, 46, 50, 190, 266

**vitamina(s)**, 55-56, 63-66, 68-70, 96, 201, 248

## X

**xilopala**, 224



- ACADEMIA BRASILEIRA DE LETRAS. *Vocabulário ortográfico da Língua Portuguesa*. 5. ed. São Paulo: Global, 2009.
- ALBERTS, B.; JOHNSON, A.; LEWIS, J.; RAFF, M.; ROBERTS, K.; WALTER, P. *Biologia molecular da célula*. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.
- ARMS, K. *Holt Environmental Sciences*. Austin: Holt, Rinehart and Winston, 2000.
- BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. *Orientações curriculares para o Ensino Médio volume 2: Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias*. Brasília, DF: MEC/SEB, 2006.
- . Ministério da Educação e do Desporto. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. *Diretrizes curriculares nacionais para o Ensino Médio*. Brasília, DF: MEC/SEMTEC, 1998.
- . Ministério da Educação e do Desporto. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. *Parâmetros curriculares nacionais para o Ensino Médio*. Brasília, DF: MEC/SEMTEC, 1999.
- BRYSON, B. *Breve história de quase tudo*. São Paulo: Companhia das Letras, 2010.
- BURKHARDT, F. *As cartas de Darwin*. São Paulo: Unesp/Cambridge University Press, 2000.
- CAMPBELL, N.; REECE, J. *Campbell biology*. 9. ed. Nova York: The Benjamin/Cummings Publishing, 2011.
- CUNHA, A.G. *Dicionário etimológico da língua portuguesa*. 4. ed. Rio de Janeiro: Faperj/Lexicon, 2010.
- DARWIN, C. *A origem das espécies*. 1. ed. São Paulo: Martin Claret, 2014.
- DiDIO, L. J. A. *Tratado de anatomia aplicada*. São Paulo: Polluss, 1998.
- FRIEDMAN, M.; FRIEDLAND, G. W. *As dez maiores descobertas da Medicina*. São Paulo: Companhia das Letras, 2006.
- GILBERT, S.F. *Developmental biology*. 6. ed. Sinauer Associates, 2000.
- GUYTON, A. C.; HALL, J. E. *Tratado de fisiologia médica*. 9. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.
- INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. *Sistema Internacional de Unidades – SI*. Rio de Janeiro: InMetro, 2012.
- JUNQUEIRA, L. C.; CARNEIRO, J. *Histologia básica*. 11. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.
- LEWIN, R. *Human evolution: an illustrated introduction*. 5. ed. New Jersey: Blackwell Publishing, 2005.
- LEWONTIN, R. *A tripla hélice: gene, organismo e ambiente*. São Paulo: Companhia das Letras, 2002.
- MADER, S. *Concepts of biology*. 2. ed. Nova York: McGraw-Hill, 2011.
- MARGULIS, L.; SCHWARTZ, K. V. *Cinco reinos: um guia ilustrado dos filós da vida na Terra*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001.
- MAYR, E. *Populações, espécies e evolução*. São Paulo: Nacional/Edusp, 1977.
- McARDLE, W.D.; KATCH, F.I.; KATCH, V.L. *Fisiologia do exercício: energia, nutrição e desempenho humano*. 4. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1998.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE. *Guia alimentar para a população brasileira*. 2. ed. Brasília, DF, 2014.
- . *Saúde bucal – Caderno de atenção básica n. 17*. Brasília, DF, 2008.
- MOORE, K. L.; DALLEY, A. F. *Anatomia orientada para a clínica*. 5. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007.
- MOORE, K. L.; PERSAUD, T. V. N. *Embriologia básica*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2000.
- NETTER, F. H. *Atlas de anatomia humana*. 5. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.
- NEVES, W.; RANGEL JR., M.; MURRIETA, R. S. S. (Orgs.) *Assim caminhou a humanidade*. 1. ed. São Paulo: Palas-Athena, 2015.
- ODUM, E. P. *Ecologia*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1988.
- PIERCE, B. A. *Genética: um enfoque conceitual*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004.
- PURVES, W. K.; ORIAN, G. H.; HELLER, H. C.; SADAVA, D. *Life: the science of biology*. Salt Lake City: Sinauer Associates Inc., 1998.
- RICKLEFS, R. B. *A economia da natureza*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2010.

- RIDLEY, M. *Evolução*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.
- SBPC/FUNDAÇÃO BRADESCO. *Ciência hoje na escola – Evolução*. São Paulo: Global, 2001.
- SILVERS, R. B. (Org.) *Histórias esquecidas da ciência*. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1997.
- SUZUKI, D. T. et al. *Introdução à genética*. 4. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1992.
- TEIXEIRA, W. et al. (Org.) *Decifrando a Terra*. 2. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009.
- TORTORA, G.J.; GRABOWSKI, S.R. *Corpo humano: fundamentos de anatomia e fisiologia*. 6. ed. Porto Alegre: Artmed Editora, 2006.

## Sites consultados

- BRASIL. *Estatuto da criança e do adolescente*: lei n. 8.069, de 13 de julho de 1990, e legislação correlata. 9. ed. Brasília: Câmara dos Deputados, Edições Câmara, 2010. Disponível em: <[http://www.crianca.mppr.mp.br/arquivos/File/publi/camara/estatuto\\_crianca\\_adolescente\\_9ed.pdf](http://www.crianca.mppr.mp.br/arquivos/File/publi/camara/estatuto_crianca_adolescente_9ed.pdf)>. Acesso em: 15 mar. 2016.
- Ciência Hoje. Disponível em: <<http://cienciahoje.uol.com.br>>. Acesso em: 15 mar. 2016.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa. Disponível em: <[www.embrapa.br](http://www.embrapa.br)>. Acesso em: 15 mar. 2016.
- Fundação Oswaldo Cruz – Fiocruz. Disponível em: <<http://portal.fiocruz.br/>>. Acesso em: 15 mar. 2016.
- Genética na escola; Sociedade Brasileira de Genética. Disponível em: <<http://www.geneticaaescola.com.br/>>. Acesso em: 21 abr. 2016.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. *Atlas geográfico escolar na internet*. Disponível em: <<http://atlasescolar.ibge.gov.br>>. Acesso em: 15 mar. 2016.
- Instituto Butantan. Disponível em: <<http://www.butantan.gov.br>>. Acesso em: 15 mar. 2016.
- Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. *Entendendo a evolução* – para professores. Disponível em: <<http://www.ib.usp.br/evosite/>>. Acesso em: 21 abr. 2016.
- Instituto Nacional do Câncer José de Alencar Gomes da Silva. Disponível em: <<http://www2.inca.gov.br/wps/wcm/connect/inca/portal/home>>. Acesso em: 15 mar. 2016.
- Macmillan Publishers. *Nature.com*. 2016. Disponível em: <<http://www.nature.com>>. Acesso em: 15 mar. 2016.
- Ministério da Educação. *Portal do Professor*. <<http://portaldoprofessor.mec.gov.br/index.html>>. Acesso em: 15 mar. 2016.
- Ministério da Saúde. *Portal da Saúde*. Disponível em: <<http://www.saude.gov.br>>. Acesso em: 15 mar. 2016.
- Nações Unidas no Brasil. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/>>. Acesso em: 15 mar. 2016.
- Pesquisa Fapesp. Disponível em: <<http://revistapesquisa.fapesp.br>>. Acesso em: 15 mar. 2016.
- Projeto Sear, Centro de Pesquisa sobre o Genoma Humano e Células-tronco. Disponível em: <<http://genoma.ib.usp.br/educacao-e-difusao/nossos-projetos/sear-ciencia>>. Acesso em: 21 abr. 2016.

# MANUAL DO PROFESSOR

DIVULGAÇÃO PNLD



Eric Isselee/Shutterstock



# SUMÁRIO

<b>Apresentação .....</b>	<b>291</b>
<b>Princípios da coleção .....</b>	<b>291</b>
<b>Estrutura da coleção .....</b>	<b>306</b>
<b>Orientações e sugestões para o trabalho com este volume .....</b>	<b>310</b>
<b>UNIDADE 1 – Ser humano: fisiologia e saúde .....</b>	<b>310</b>
Capítulo 1 – Locomoção .....	311
Capítulo 2 – Coordenação nervosa e sentidos .....	318
Capítulo 3 – Digestão e nutrição .....	326
Capítulo 4 – Respiração, circulação e excreção .....	333
Capítulo 5 – Controle hormonal e reprodução .....	337
<b>UNIDADE 2 – Genética .....</b>	<b>343</b>
Capítulo 6 – Genética: Primeira Lei de Mendel .....	344
Capítulo 7 – Polialelia .....	350
Capítulo 8 – Segunda Lei de Mendel .....	352
Capítulo 9 – Genética pós-Mendel .....	356
Capítulo 10 – Biologia molecular do gene: síntese proteica e engenharia genética .....	362
<b>UNIDADE 3 – Evolução .....</b>	<b>366</b>
Capítulo 11 – Evolução: conceito e evidências .....	367
Capítulo 12 – Teoria sintética da evolução, especiação e genética de populações .....	373
Capítulo 13 – Evolução humana .....	379

## Apresentação

Professor(a), muitas pessoas colaboraram com esta coleção, e nosso trabalho foi feito com muita dedicação e respeito a você e aos alunos.

Queremos estabelecer uma relação de interlocução com você. Da mesma maneira que desejamos contribuir com seu trabalho, ficaríamos honrados em receber de você comentários e devolutivas sobre nossas sugestões e ideias, incluindo resultados obtidos em suas práticas escolares. Cada realidade educacional é singular, e o compartilhamento de vivências entre nós representa um fortalecimento para nosso desenvolvimento profissional.

Ao elaborarmos esta coleção, procuramos:

- ▶ propor situações de aprendizagem que auxiliem os alunos a compreender os fenômenos biológicos, de forma a colaborar com sua formação integral e o desenvolvimento de uma consciência crítica;
- ▶ discutir conteúdos de forma interdisciplinar e contextualizada, valorizando os significados que os alunos atribuem ao que for aprendido;
- ▶ ressaltar que os conhecimentos científicos, por serem produtos de investigações e estarem em constante desenvolvimento, não são absolutos nem acabados, e relacionar avanços tecnológicos ao desenvolvimento da Ciência;
- ▶ evidenciar que no desenvolvimento de determinados conhecimentos tornam-se necessárias a experimentação, a utilização de equipamentos diferenciados e a busca por diversos meios de informação;
- ▶ propor atividades diversificadas que possibilitem o exercício da criatividade por parte de cada aluno e atividades em que a construção de conhecimentos ocorra de forma coletiva, na interação entre os alunos e entre estes e você;
- ▶ valorizar os conhecimentos prévios dos alunos, reconhecendo-os como sujeitos com saberes e potenciais;
- ▶ estimular a reflexão sobre questões éticas que envolvam dimensões humanas como cultura, sociedade, política, Ciência e tecnologia, tendo como referência os Direitos Humanos;
- ▶ oferecer condições para que os alunos compreendam a realidade que os cerca e, assim, possam atuar na sociedade de forma ativa, possibilitando o desenvolvimento de aprendizagens e percebendo a importância de saberem posicionar-se diante de diferentes assuntos e interlocutores.

Os seguintes tópicos serão tratados neste Manual do Professor:

- ▶ **princípios da coleção:** apresentação dos princípios filosóficos e pedagógicos, assim como diretrizes educacionais que fundamentam esta coleção;
- ▶ **estrutura da coleção:** descrição das características da obra, contendo a estrutura comum aos três volumes;
- ▶ **orientações e sugestões para o trabalho com este volume:** apresentação de comentários específicos a respeito de cada unidade e capítulo deste volume; proposição de atividades e leituras adicionais e, ainda, sugestões complementares de respostas às atividades presentes nos capítulos.

Professor(a), faça comentários e sugestões por carta, telefone ou e-mail, usando os contatos da editora, disponíveis na página 2 do livro.

## Princípios da coleção

Em 1990, em Jomtien, Tailândia, realizou-se uma conferência que discutiu como seria possível assegurar o direito à educação básica a todos os seres humanos. Como fruto dessa discussão, os diversos países participantes elaboraram a *Declaração Mundial sobre Educação para Todos* (Unesco, 1998). Trata-se de um documento que propõe aos sistemas de ensino um plano de ações focado no atendimento às necessidades básicas de aprendizagem de toda pessoa, as quais

[...] compreendem tanto os instrumentos essenciais para a aprendizagem (como a leitura e a escrita, a expressão oral, o cálculo, a solução de problemas), quanto os conteúdos básicos da aprendizagem (como conhecimentos, habilidades, valores e atitudes) necessários para que os seres humanos possam sobreviver, desenvolver plenamente suas potencialidades, viver e trabalhar com dignidade, participar plenamente do desenvolvimento, melhorar a qualidade de vida, tomar decisões fundamentadas e continuar aprendendo.

(Unesco, 1998)

Esta coleção compartilha a visão presente na Declaração da Unesco sobre a importância e as possibilidades da educação para o ser humano, utilizando as suas concepções como alicerce desta obra didática. Acreditamos que uma das formas de democratizar a educação seja através da confecção de bons instrumentos de aprendizagem, que constituam fonte confiável de estudo para o aluno e uma ferramenta didática de apoio ao trabalho desenvolvido pelo(a) professor(a). Assim, esta coleção de livros didáticos

apresenta seleção de conteúdos relevantes, abordados de forma atraente ao jovem e que permitem aprofundar o entendimento sobre Ciência, tecnologia e assuntos relacionados.

Nesta obra, a interface entre as questões científicas e sua aplicação no cotidiano permite que os alunos entendam e se relacionem melhor com aspectos do seu dia a dia, de forma a estimular suas potencialidades e contribuir com sua formação integral. A aprendizagem contextualizada e o estímulo à reflexão de questões éticas permitem uma maior consciência crítica dos alunos, o que aumenta sua ação na comunidade e o desejo de continuar aprendendo.

Além dessa visão, consideramos que o Ensino Médio é a etapa que consolida o ideal de escola para todos. Nesse sentido, as Diretrizes Nacionais do Ensino Médio (DCNEM) indicam alguns caminhos:

Artigo 13- As unidades escolares devem orientar a definição de toda proposição curricular, fundamentada na seleção dos conhecimentos, componentes, metodologias, tempos, espaços, arranjos alternativos e formas de avaliação, tendo presente:

I - as dimensões do trabalho, da ciência, da tecnologia e da cultura como eixo integrador entre os **conhecimentos de distintas naturezas**, contextualizando-os em sua dimensão histórica e em relação ao contexto social contemporâneo;

II - o **trabalho como princípio educativo**, para a compreensão do processo histórico de produção científica e tecnológica, desenvolvida e apropriada socialmente para a transformação das condições naturais da vida e a ampliação das capacidades, das potencialidades e dos sentidos humanos;

III - a **pesquisa** como princípio pedagógico, possibilitando que o estudante possa ser protagonista na investigação e na busca de respostas em um processo autônomo de (re)construção de conhecimentos.

IV - os **direitos humanos** como princípio norteador, desenvolvendo-se sua educação de forma integrada, permeando todo o currículo, para promover o respeito a esses direitos e à convivência humana.

V - a **sustentabilidade socioambiental** como meta universal, desenvolvida como prática educativa integrada, contínua e permanente, e baseada na compreensão do necessário equilíbrio e respeito nas relações do ser humano com seu ambiente.

(Brasil, 2012, p. 4, grifos nossos)

A partir dos caminhos sugeridos pelas DCNEM, procuramos estruturar esta coleção de forma a garantir que o ensino de Biologia possa inserir o aluno na sociedade de forma mais consciente e

ativa, podendo participar da transformação da sua realidade. Por meio de textos e imagens, buscamos demonstrar a importância da pluralidade cultural para a vida em sociedade, com exemplos da participação positiva de mulheres, idosos, afro-descendentes, indígenas e povos do campo. Desta forma pretende-se auxiliar no reconhecimento dos mesmos e na construção de uma sociedade mais solidária, justa e igualitária. Entendemos que o ensino de Biologia tem muito a contribuir com o projeto de escola para todos.

Outros fundamentos importantes para a elaboração da coleção dentro dessa perspectiva foram baseados nos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM), dos quais selecionamos alguns dos trechos mais relevantes para nosso trabalho:

O conhecimento de Biologia deve subsidiar o julgamento de questões polêmicas, que dizem respeito ao desenvolvimento, ao aproveitamento de recursos naturais e à utilização de tecnologias que implicam intensa intervenção humana no ambiente, cuja avaliação deve levar em conta a dinâmica dos ecossistemas, dos organismos, enfim, o modo como a natureza se comporta e a vida se processa. [...]

No século XX presenciou-se um intenso processo de criação científica, inigualável a tempos anteriores. A associação entre ciência e tecnologia se amplia, tornando-se mais presente no cotidiano e modificando cada vez mais o mundo e o próprio ser humano. Questões relativas à valorização da vida em sua diversidade, à ética nas relações entre seres humanos, entre eles e seu meio e o planeta, ao desenvolvimento tecnológico e sua relação com a qualidade de vida marcam fortemente nosso tempo, pondo em discussão os valores envolvidos na produção e aplicação do conhecimento científico e tecnológico. [...]

Mais do que fornecer informações, é fundamental que o ensino de Biologia se volte para o desenvolvimento de competências que permitam ao aluno lidar com as informações, compreendê-las, elaborá-las, refutá-las, quando for o caso, enfim, compreender o mundo e nele agir com autonomia, fazendo uso dos conhecimentos adquiridos da Biologia e da tecnologia. [...]

No ensino de Biologia, enfim, é essencial o desenvolvimento de posturas e valores pertinentes às relações entre os seres humanos, entre eles e o meio, entre o ser humano e o conhecimento, contribuindo para uma educação que formará indivíduos sensíveis e solidários, cidadãos conscientes dos processos e regularidades do mundo e da vida, capazes, assim, de realizar ações práticas, de fazer julgamentos e de tomar decisões.

(Brasil, 2002-a, p. 219, 220, 225 e 226)



Percebe-se claramente que, segundo os PCNEM, as questões socioambientais devem estar presentes como eixo estruturante no ensino de Biologia. Ao mesmo tempo, os alunos precisam desenvolver habilidades importantes para que façam a análise de tais questões. A partir dessas considerações, foram elaboradas atividades de pesquisa, análise crítica, comparação de dados, intervenção social, entre outras, dentro da perspectiva de promoção da sustentabilidade e do respeito ao ambiente no qual estamos inseridos. Os textos, em muitos momentos, apresentam conceitos de modo argumentativo, procurando envolver o leitor na construção do conhecimento. Dessa forma, acreditamos que os livros desta coleção podem contribuir com o trabalho docente, visando à formação integral de seres humanos mais comprometidos com a evolução da nossa sociedade para rumos mais sustentáveis e éticos.

O Manual do Professor foi concebido para servir de apoio ao seu trabalho, trazendo elementos que permitem aprofundamento conceitual, comentários e sugestões a respeito das situações de aprendizagem, propostas ao longo dos volumes desta coleção.

## Conhecer e acolher os alunos

Dayrell (2003) alerta-nos a respeito da imagem corrente em nossa sociedade de que a juventude seria basicamente uma mera transição à vida adulta, regida por uma lógica do que o autor chama de “vir a ser”.

Essa concepção, infelizmente, ainda está muito presente na escola: em nome do “vir a ser” do aluno, traduzido no diploma e nos possíveis projetos de futuro, tende-se a negar o presente vivido pelo jovem como espaço válido de formação, bem mais amplo do que apenas o futuro (Dayrell, 2003, p. 41).

Face a esse cenário, cabe a nós, educadores, indagarmo-nos: quem são os alunos com os quais nos deparamos em sala de aula no Ensino Médio? Que questões sociais, filosóficas, afetivas, políticas, entre outras, são trazidas por eles à escola e merecem ser consideradas por nós em nosso trabalho? De que maneira podemos agir como interlocutores, a fim de que a partir dessa relação desenvolvam-se oportunidades de aprendizagem – para eles e para nós?

Essas e outras questões expressam inúmeros desafios que se colocam ao Ensino Médio, exigindo de nós, educadores, uma resignificação desse nível da escola básica (Brasil, 2012).

Com a perspectiva de um imenso contingente de adolescentes, jovens e adultos, que se diferenciam por condições de existência e perspectivas de futuro desiguais, é que o Ensino Médio deve trabalhar. Está em jogo a recriação da escola que, embora não possa por si só resolver as desigualdades sociais, pode ampliar as condições de inclusão social, ao possibilitar o acesso à ciência, à tecnologia, à cultura e ao trabalho (Brasil, 2012).

Diante do exposto, o ensino precisa aproximar-se mais dos jovens, investindo em adaptações curriculares que motivem o estudo e atendam suas necessidades educacionais. Essa abordagem pretende contribuir com a acessibilidade universal dos alunos à escola, uma vez que os auxilia nas demandas enfrentadas cotidianamente.

Nesse contexto, a presente coleção traz, no livro do aluno e no Manual do Professor, seleção de conteúdos e diversidade de propostas que estimulam a compreensão científica e tecnológica dos processos produtivos, procurando contextualizar os temas da Biologia em cenários do cotidiano e/ou dos quais os alunos podem participar de modo ativo e crítico.

Além disso, são propostas pesquisas e atividades que extrapolam os limites da sala de aula, visando cultivar o protagonismo dos alunos a partir de uma relação de ensino e aprendizagem emancipatória.

Os livros desta coleção procuram trazer oportunidades para que você se aproxime de seus alunos, principalmente por meio das atividades propostas. Consideramos interessante desenvolver, em sala de aula, a postura de orientador, auxiliando os jovens a refinar seus questionamentos e argumentos, selecionar fontes confiáveis de informação, interpretar gráficos e esquemas, entre outros aspectos.

Conhecer os alunos e abrir espaço para que eles organizem projetos que considerem as formas de expressão típicas de sua idade e região são formas de acolhimento às suas particularidades e aprimoramento pessoal. Tais situações de aprendizagem permitem aumentar a autonomia intelectual dos alunos, ampliar seu pensamento crítico e estruturar sua formação ética.

## Ensinar buscando contextualização e interdisciplinaridade

Na perspectiva de ensino que estamos considerando, professores e alunos educam-se mutuamente, em constante interlocução. Eles são parceiros do processo educacional, em um exercício contínuo de compreender a realidade.

Na busca pela compreensão da realidade, entendemos que a contextualização e a interdisciplinaridade são alicerces do ensino.

A contextualização procura estabelecer relações diretas e claras entre os conteúdos e a realidade vivida pelos alunos.

O professor deve ter presente que a contextualização pode – e deve – ser efetivada no âmbito de qualquer modelo de aula. **Existe a possibilidade de contextualização tanto em aulas mais tradicionais, expositivas, quanto em aulas de estudo do meio, experimentação ou no desenvolvimento de projetos.** A própria escola e seu entorno podem servir de ponto de partida para a contextualização. A presença ou a ausência de elementos biológicos nesse espaço configura-se como um bom elemento para iniciar qualquer assunto na disciplina. Se o aluno começar a enxergar para além de sua realidade cotidiana, se perceber novos fatos e levantar novas questões, mesmo sobre lugares e coisas que não lhe são tão familiares, então o princípio da contextualização terá acontecido. É o respeito e a valorização das especificidades locais que garantem a reconstrução permanente do currículo de qualquer disciplina.

É importante, também, que o professor perceba que a contextualização deve ser realizada não somente para tornar o assunto mais atraente ou mais fácil de ser assimilado. Mais do que isso, **é permitir que o aluno consiga compreender a importância daquele conhecimento para a sua vida, e seja capaz de analisar sua realidade,** imediata ou mais distante, o que pode tornar-se uma fonte inesgotável de aprendizado. Além de valorizar a realidade desse aluno, a contextualização permite que o aluno venha a desenvolver uma nova perspectiva: a de observar sua realidade, compreendê-la e, o que é muito importante, enxergar possibilidades de mudança.

(Brasil, 2006, p. 35, grifos nossos)

Ao elaborarmos esta coleção, tivemos, entre outras preocupações, a de propor atividades que instigam os alunos a falar de suas experiências e conhecimentos prévios, a participar de debates e a fazer relatos de observação do seu cotidiano ou do ambiente do seu entorno. Em algumas atividades são sugeridas também intervenções na comunidade. Esses tipos de atividades oferecem oportunidade para contextualização nas aulas de Biologia.

A interdisciplinaridade é outra característica do ensino que busca auxiliar o aluno a entender a realidade, em sua complexidade. Usamos como base para compreender o conceito de interdisciplinaridade os documentos oficiais, como o PCNEM:

O conceito de interdisciplinaridade fica mais claro quando se considera o fato trivial de que **todo conhecimento mantém um diálogo permanente com outros conhecimentos**, que pode ser de questionamento, de confirmação, de complementação, de negação, de ampliação, de eliminação de aspectos não distinguidos. [...]

É importante enfatizar que **a interdisciplinaridade supõe um eixo integrador**, que pode ser o objeto de conhecimento, um projeto de investigação, um plano de intervenção. Nesse sentido, ela deve partir da necessidade sentida pelas escolas, professores e alunos de explicar, compreender, intervir, mudar, prever, algo que desafia uma disciplina isolada e atrai a atenção de mais de um olhar, talvez vários. Explicação, compreensão, intervenção são processos que requerem um conhecimento que vai além da descrição da realidade e mobiliza competências cognitivas para deduzir, tirar inferências ou fazer previsões a partir do fato observado.

(Brasil, 2002-a, p. 88 e 89, grifos nossos)

Machado (2006) alerta-nos que buscar interdisciplinaridade na escola não significa acabar com as disciplinas escolares, nem criar novas “matérias” interdisciplinares. Ser interdisciplinar significa aproximar as disciplinas escolares, explicando os fenômenos de forma mais abrangente, o que representa um desafio à escola.

O ensino com orientação interdisciplinar pode motivar os alunos ao longo de sua aprendizagem. Segundo os PCNEM:

A integração dos diferentes conhecimentos pode criar as condições necessárias para uma aprendizagem motivadora, na medida em que ofereça maior liberdade aos professores e alunos para a seleção de conteúdos mais diretamente relacionados aos assuntos ou problemas que dizem respeito à vida da comunidade. Todo conhecimento é socialmente comprometido e não há conhecimento que possa ser aprendido ou recriado se não se parte das preocupações que as pessoas têm. O distanciamento entre os conteúdos programáticos e a experiência dos alunos certamente respondem pelo desinteresse e até mesmo pela deserção que constatamos em nossas escolas.

(Brasil, 2002-a, p. 34)

O enfoque interdisciplinar no ensino deve ser planejado entre professores das diversas disciplinas e pode ser semiestruturado, o que possibilita que as etapas de ensino sejam reformuladas à medida que os alunos e os professores sentirem determinadas necessidades.

Disciplinas escolares que fazem parte da mesma área de conhecimento (como Biologia, Física e Química) aparentemente favorecem mais as práticas interdisciplinares do que disciplinas de áreas diferentes. No entanto, o ensino interdisciplinar é capaz de promover diálogos entre todas as disciplinas do currículo escolar. No documento complementar aos PCNEM, conhecido como PCN+ : Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias, reforça-se a necessidade de articulação entre Física, Química e Biologia:

Essa articulação interdisciplinar intra-área não deveria ser vista simplesmente como um produto novo, a ser apresentado à escola, pois, sob certos aspectos, é uma dívida antiga que se tem com o aluno. Uma parcela dessa dívida poderia ser paga com **a apresentação de uma linguagem e da nomenclatura realmente comuns entre várias das disciplinas**. Por exemplo, quando na Biologia se fala em energia da célula, na Química se fala em energia da reação e na Física em energia da partícula, não basta que tenham a mesma grafia ou as mesmas unidades de medida. São tratados em contextos tão distintos os três temas, que o aluno não pode ser deixado solitário no esforço de ligar as “coisas diferentes” designadas pela mesma palavra. [...]

Também alguns conceitos gerais nas ciências, como os de unidades e de escalas, ou de transformação e de conservação, presentes de diferentes formas na Matemática, na Biologia, na Física e na Química, seriam muito mais facilmente compreendidos e generalizados, se fossem objeto de um tratamento de caráter unificado feito de comum acordo pelos professores da área. Com certeza, são diferentes as conotações destes conceitos nas distintas disciplinas, mas uma interpretação unificada em uma tradução interdisciplinar enriqueceria a compreensão de cada uma delas.

(Brasil, 2002-b, p. 19-20, grifos nossos)

No caso da Biologia, consideramos que os fenômenos biológicos possuem caráter social e histórico, estão engendrados nas culturas e são muitas vezes analisados sob a influência da visão de mundo das pessoas que os observam. Esses aspectos intrínsecos às Ciências da Natureza permitem relacionar conteúdos específicos com áreas como História, Geografia, Arte, Sociologia e Filosofia.

Os livros desta coleção podem colaborar com o enfoque interdisciplinar, pois procuramos estabelecer relações dos conteúdos de Biologia com outras disciplinas, tanto nos textos, quanto em atividades propostas, quadros com informações, sugestões de leituras complementares e indicações de sites e filmes.

Na parte específica deste Manual também há sugestões para viabilizar esse tipo de trabalho, fundamental para ampliar e significar as situações de aprendizagem. As sugestões e os contextos relacionados à interdisciplinaridade podem inspirar o trabalho em conjunto com os outros professores, além de estimular, nos alunos, a curiosidade pela forma mais abrangente de se compreender um tema científico.

Veja o seguinte exemplo: ao estudar a reprodução sexuada, apresentamos um texto a respeito das concepções científicas vigentes nos séculos XVI e XVII, segundo as quais o papel da mulher na reprodução humana era apenas o de abrigar a “semente” de um novo indivíduo, contida no espermatozoide. A partir dessa leitura, convidamos os alunos a pesquisar sobre o contexto histórico em que tal concepção surgiu e quais as possíveis relações entre essa ultrapassada visão científica e o papel das mulheres na sociedade da época.



Por outro lado, o domínio da Língua Portuguesa e da Matemática é fundamental para a compreensão de conceitos científicos e suas aplicações. Assim, temas de Biologia podem ser utilizados no desenvolvimento de leitura e interpretação de textos; a interpretação e a elaboração de gráficos para expressar dados é uma atividade auxiliar no estudo da Matemática.

Outro aspecto presente na coleção é o uso da etimologia como auxiliar no estudo da Biologia, conhecida pela profusão de nomes técnicos de estruturas e de processos. Compreender a origem e o significado de termos favorece o entendimento dos conceitos, e não apenas memorização.





## Ensinar com base em competências e habilidades

O ensino fundamentado em competências e habilidades exige exercício cognitivo rico em possibilidades, o qual contribui com o processo de interpretação da realidade pelos alunos.

Competências são as modalidades estruturais da inteligência, ou melhor, ações e operações que utilizamos para estabelecer relações com e entre objetos, situações, fenômenos e pessoas que desejamos conhecer. As habilidades decorrem das competências adquiridas e referem-se ao plano imediato do “saber fazer”. Por meio das ações e operações, as habilidades aperfeiçoam-se e articulam-se, possibilitando nova reorganização das competências.

(Inep, 1999, p.7)

O desenvolvimento de uma habilidade pode não levar espontaneamente ao desenvolvimento de uma competência. Nesse sentido, é importante o envolvimento do indivíduo em situações de aprendizagem, em que a própria natureza dessas situações favorecerá essa mudança.

Krasilchik (2004) chama a atenção para a dificuldade em distinguir competência de habilidade. Dada essa questão, optamos por não investir em uma discussão teórica acerca do tema. Apresentaremos a seguir como são entendidas competências e habilidades nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) e no Exame Nacional do Ensino Médio (Enem).

Existem pequenas variações entre as concepções de competências e habilidades presentes nos PCNs e no Enem. Sugerimos uma análise criteriosa por parte do(a) professor(a) para diferenciá-las e conhecer os diferentes aspectos que envolvem cada um desses documentos.

## PCN: Competências e habilidades a serem desenvolvidas em Biologia

Com o objetivo de orientar a atuação dos educadores, os PCN (Brasil, 2002-a) estabelecem competências e habilidades a serem desenvolvidas em Biologia.

As competências específicas, transcritas a seguir, foram agrupadas em três campos de competências de caráter geral: competências de **representação e comunicação**, de **investigação e compreensão** e de **contextualização sociocultural**.

- As competências de **representação e comunicação** apontam as linguagens como instrumentos de produção de sentido e, ainda, de acesso ao próprio conhecimento, sua organização e sistematização.
- As competências de **investigação e compreensão** apontam os conhecimentos científicos, seus diferentes procedimentos, métodos e conceitos, como instrumentos de intervenção no real e de solução de problemas.
- As competências de **contextualização sociocultural** apontam a relação da sociedade e da cultura, em sua diversidade, na constituição do significado para os diferentes saberes.

(Brasil, 2002-a, p. 296)

### Competências de representação e comunicação

- Descrever processos e características do ambiente ou de seres vivos, observados em microscópio ou a olho nu.
- Perceber e utilizar os códigos intrínsecos da Biologia.
- Apresentar suposições e hipóteses acerca dos fenômenos biológicos em estudo.
- Apresentar, de forma organizada, o conhecimento biológico aprendido, através de textos, desenhos, esquemas, gráficos, tabelas, maquetes etc.
- Conhecer diferentes formas de obter informações (observação, experimento, leitura de texto e imagem, entrevista), selecionando aquelas pertinentes ao tema biológico em estudo.
- Expressar dúvidas, ideias e conclusões acerca dos fenômenos biológicos.

### Competências de investigação e compreensão

- Relacionar fenômenos, fatos, processos e ideias em Biologia, elaborando conceitos, identificando regularidades e diferenças, construindo generalizações.
- Utilizar critérios científicos para realizar classificações de animais, vegetais etc.
- Relacionar os diversos conteúdos conceituais de Biologia (lógica interna) na compreensão de fenômenos.
- Estabelecer relações entre parte e todo de um fenômeno ou processo biológico.
- Selecionar e utilizar metodologias científicas adequadas para a resolução de problemas, fazendo uso, quando for o caso, de tratamento estatístico na análise de dados coletados.

- Formular questões, diagnósticos e propor soluções para problemas apresentados, utilizando elementos da Biologia.
- Utilizar noções e conceitos da Biologia em novas situações de aprendizado (existencial ou escolar).
- Relacionar o conhecimento das diversas disciplinas para o entendimento de fatos ou processos biológicos (lógica externa).

#### Competências de contextualização sociocultural

- Reconhecer a Biologia como um fazer humano e, portanto, histórico, fruto da conjunção de fatores sociais, políticos, econômicos, culturais, religiosos e tecnológicos.
- Identificar a interferência de aspectos místicos e culturais nos conhecimentos do senso comum relacionados a aspectos biológicos.
- Reconhecer o ser humano como agente e paciente de transformações intencionais por ele produzidas no seu ambiente.
- Julgar ações de intervenção, identificando aquelas que visam à preservação e à implementação da saúde individual, coletiva e do ambiente.
- Identificar as relações entre o conhecimento científico e o desenvolvimento tecnológico, considerando a preservação da vida, as condições de vida e as concepções de desenvolvimento sustentável.

(Brasil, 2002-a, p. 225 e 227)

### Competências e habilidades avaliadas pelo Enem

Selecionamos a seguir trechos da matriz de referência para o Enem, contendo os eixos cognitivos, comuns a todas as áreas do conhecimento, assim como as competências e as habilidades específicas da área de conhecimento de Ciências da Natureza e suas Tecnologias.

#### Eixos cognitivos

I. **Dominar linguagens (DL):** dominar a norma culta da Língua Portuguesa e fazer uso das linguagens matemática, artística e científica e das línguas espanhola e inglesa.

II. **Compreender fenômenos (CF):** construir e aplicar conceitos das várias áreas do conhecimento para a compreensão de fenômenos naturais, de processos histórico-geográficos, da produção tecnológica e das manifestações artísticas.

III. **Enfrentar situações-problema (SP):** selecionar, organizar, relacionar, interpretar dados e informações representados de diferentes formas, para tomar decisões e enfrentar situações-problema.

IV. **Construir argumentação (CA):** relacionar informações, representadas em diferentes formas, e conhecimentos disponíveis em situações concretas, para construir argumentação consistente.

V. **Elaborar propostas (EP):** recorrer aos conhecimentos desenvolvidos na escola para elaboração de propostas de intervenção solidária na realidade, respeitando os valores humanos e considerando a diversidade sociocultural.

[...]

### Matriz de Referência de Ciências da Natureza e suas Tecnologias

**Competência de área 1** – Compreender as ciências naturais e as tecnologias a elas associadas como construções humanas, percebendo seus papéis nos processos de produção e no desenvolvimento econômico e social da humanidade.

**Competência de área 2** – Identificar a presença e aplicar as tecnologias associadas às ciências naturais em diferentes contextos.

**Competência de área 3** – Associar intervenções que resultam em degradação ou conservação ambiental a processos produtivos e sociais e a instrumentos ou ações científico-tecnológicos.

**Competência de área 4** – Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas relacionadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.

**Competência de área 5** – Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

[...]

**Competência de área 8** – Apropriar-se de conhecimentos da biologia para, em situações problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

### A alfabetização científica

As competências a serem desenvolvidas no ensino de Ciências da Natureza relacionam-se com o conceito de alfabetização científica, que inclui a compreensão das características de uma investigação científica, da natureza da Ciência e das conexões entre o conhecimento científico, a tecnologia e a sociedade.

As atividades práticas e os estudos do meio constituem elementos óbvios da alfabetização científica, mas grande parte desse processo pode ocorrer pela leitura de textos como os artigos científicos. Esse tipo de texto caracteriza-se pela argumentação, por meio da qual os autores estabelecem relações entre as evidências e as conclusões. Segundo uma pesquisa em argumentação na Ciência, os pesquisadores estão, na maior parte do tempo, envolvidos não em atividades experimentais, mas em atividades de leitura, escrita ou fala, sendo esses momentos parte do processo investigativo (Phillips; Norris, 2009 *apud* Scarpa; Trivelato, 2012).

De acordo com tal perspectiva, a leitura do livro didático e de artigos de divulgação científica, apropriada para o Ensino Médio, constitui um momento fundamental para a alfabetização científica, podendo desenvolver as habilidades de interpretação de texto, a criatividade, o pensamento abstrato e crítico. A leitura pode ser “considerada como um processo de investigação, por meio da qual os significados

seriam construídos a partir da interpretação e da utilização ativa dos conhecimentos prévios.” (Scarpa; Trivelato, 2012).

Na elaboração dos textos dos livros desta coleção, tivemos o cuidado de apresentar as informações em um nível crescente de complexidade. Em diversos trechos, o aluno pode acompanhar o relato de experimentos e suas conclusões, assim como a descrição de raciocínios envolvidos na elaboração de certas hipóteses. Os livros apresentam, também, leituras para aprofundamento de um tema, geralmente com enfoque argumentativo, o que contribui para a alfabetização científica dos alunos.

## Recursos didáticos e situações de ensino

Como cada aluno(a) apresenta necessidades educacionais específicas, em cada turma há uma diversidade humana a ser considerada pelo educador. Por isso, é preciso diversificar recursos didáticos e situações de ensino para possibilitar o atendimento às diferentes necessidades educacionais dos alunos.

Para confeccionar esta coleção, partimos do princípio de que todos os alunos são sujeitos dotados de um conjunto de saberes e potenciais, antes mesmo que se inicie um curso ou uma sequência didática. Se as atividades de ensino valorizarem os conhecimentos prévios dos alunos, esse e outros conjuntos de saberes e potenciais poderão ser ainda mais desenvolvidos.

A seguir, apresentamos diversos recursos e situações de ensino que você poderá utilizar em suas aulas, para desenvolver o conteúdo específico de Biologia para o Ensino Médio e as competências e habilidades propostas pelos referenciais nacionais.

## Discussões coletivas

Uma maneira de incentivar os alunos a valorizarem a fala e a escrita é solicitar-lhes, como preparação às discussões coletivas, que redijam argumentos com base em dados obtidos em fontes de informação como livros, jornais e sites. Além disso, durante a discussão os alunos podem elaborar uma ata simplificada, desenvolvendo a habilidade de fazer anotações que sejam usadas posteriormente, no estudo individual.

É importante que ao final de argumentações coletivas você faça apontamentos para concluir a discussão, indicando também possíveis continuidades por novos caminhos. Exponha os motivos que levaram a cada conclusão.

Como exemplos de discussões coletivas estão o **debate** e o **júri simulado**. Eles diferenciam-se na medida em que o júri simulado exige dos alunos um apelo dramático: eles devem assumir personagens, agindo de acordo com a maneira como

imaginam que eles seriam e pensariam sobre uma dada ação/decisão alvo da discussão coletiva. Para isso, a turma deve ser organizada em grupos, cada um sendo responsável por um tipo de personagem. Logo, cada grupo apresenta uma lógica interna. Por exemplo, no grupo de juízes, os alunos deverão comportar-se de acordo como imaginam que seriam os juízes. No grupo de pessoas favoráveis a uma ação/decisão, os alunos deverão comportar-se como imaginam que essas pessoas o fariam. O mesmo procedimento deve ser adotado quanto ao grupo de pessoas contrárias a essa ação/decisão, ao grupo de testemunhas e, se você julgar necessário, ao grupo de pessoas com direito a voto, se for o caso de júri popular.

A **assembleia** é uma variação do júri simulado. Nesse caso, está em discussão a aceitação ou não de uma medida que afeta o coletivo. Você pode propor que os próprios alunos decidam como será atingida a decisão final: por votação, com vitória da maioria, ou por dissenso seguido de consenso – nesse caso, trata-se de um caminho pouco usual, merecendo ser conhecido pelos jovens e legitimado democraticamente.

## Registros por escrito

Os registros escritos são excelentes instrumentos para o desenvolvimento de competências e habilidades. Além de permitir ao professor verificar os diferentes pontos de partida dos alunos, seus conhecimentos prévios e opiniões, esse tipo de ferramenta pedagógica possibilita que os alunos tomem consciência de seu processo de aprendizagem.

Separamos a seguir alguns dos principais tipos de registro por escrito presentes nas atividades desta coleção:

- › **resumo** – essa atividade exige que os alunos evidenciem as ideias-chave de um texto ou reportagem de rádio/TV, por exemplo. Neste tipo de atividade não se colocam opiniões sobre o que foi estudado, apenas as principais informações.
- › **síntese** – diferencia-se do resumo por exigir que os alunos confrontem ideias entre diferentes fontes de informação, exigindo-lhes a organização de ideias a respeito de um tema, e a elaboração de um texto. Você pode solicitar aos alunos que se posicionem quanto ao tema;
- › **relato de atividade** – trata-se de uma descrição a respeito de uma atividade realizada, como uma atividade prática, uma visita a um museu ou, como já comentamos, uma discussão coletiva. Você pode solicitar em maior ou em menor detalhes essa descrição.



## Elaboração de poemas, músicas e outras formas de expressão artística

Para a elaboração de poemas ou músicas os alunos devem dominar o conteúdo estudado, ligando-o a outros presentes em seu cotidiano de uma forma lúdica e interessante. Incentive a expressão dos alunos, solicitando-lhes que utilizem outras linguagens para abordar temas estudados nas aulas. Ao final, permita que eles utilizem diversas formas de apresentação, como exposição, roda de apresentações ou de canto, sarau etc. Esse momento deve ser de troca e valorização das diferentes expressões dos alunos, reforçando também os aprendizados conceituais.

## Elaboração de esquemas e desenhos

Os alunos podem elaborar esquemas que sintetizam os conteúdos estudados, assim como as etapas de um processo biológico.

Mais elaborado que um esquema é o **mapa conceitual**, que expressa as relações entre conceitos (Ausubel et al., 1980). Ressalte que verbos ou expressões verbais devem ligar os conceitos. Além disso, lance uma questão a ser respondida via mapa conceitual. É importante notar quais os alunos, ao elaborarem um dado mapa, percebem a diferença entre os conceitos: mais abrangentes, “intermediários” ou mais específicos.

Você pode orientar os alunos a fazer desenhos de seres vivos ou de suas partes, vinculando-os a esquemas, assim como pode lhes pedir que se expressem por outras linguagens menos realistas para abordar temas estudados nas aulas. Tal como nos poemas, poderão manifestar sentimentos e emoções, sendo importante perceber a diferença existente entre essas duas formas de registro. No caso dos poemas e músicas algumas imprecisões são possíveis para garantir uma certa liberdade poética, embora não possam haver erros conceituais. Já no caso dos desenhos é imprescindível que seja garantida a correta apresentação dos conteúdos e dos objetos representados.

Desenhos também podem ser apresentados de diferentes formas em uma classe de Ensino Médio. Desde uma exposição mais formal, até a construção de jogos de cartas, fanzines ou outras formas mais atraentes para a faixa etária. Deixar que os alunos escolham a forma de apresentação que mais interessa ao grupo pode ser uma forma de aumentar ainda mais o interesse dos mesmos pela atividade.

## Registros de imagens

Fotografias e vídeos são formas interessantes de expor um conteúdo, a opinião de um grupo, o resultado de uma investigação.

Esse tipo de registro requer uma discussão prévia essencial abordando a ética. Muitas imagens têm sido veiculadas no mundo todo sem o devido cuidado quanto à dignidade humana.

Por essa razão, oriente os alunos a sempre solicitarem por escrito a permissão das pessoas que aparecem nas imagens, fazendo uso do chamado termo de consentimento. Trata-se de uma declaração em que as pessoas fotografadas ou filmadas afirmam que concordam com o uso que será feito de suas imagens, sendo garantida a preservação de sua dignidade. Oriente os alunos a apresentar as fotos e os vídeos às pessoas cujas imagens foram registradas, a fim de que estas possam avaliar se sua veiculação será permitida. Além disso, é essencial que se dê, a quem registrou as imagens, o devido crédito.

- **Foto** – oriente os alunos a elaborarem legendas que sejam apropriadas ao que aparece nas imagens, lembrando-os que devem transmitir informações pertinentes e não serem demasiadamente longas. No caso de seres vivos e partes de seus corpos, escalas são informações importantes a quem visualiza as imagens.
- **Vídeo** – você pode desenvolver com os alunos os chamados “filmes de curta duração”, conhecidos como “curtas”. Diversos temas podem ser abordados, representando um importante meio de expressão dos alunos. Os “curtas” podem ser apresentados durante um festival temático na escola ou podem ser atrelados a outras atividades, como a criação de reportagens em *blogs*.

## Reportagens

A confecção de reportagens é um recurso didático bem interessante para alunos do Ensino Médio. Esse tipo de atividade, geralmente utilizado no Ensino Fundamental, pode ter objetivos mais complexos para os jovens. Eles são capazes de analisar a fidelidade das informações, a tentativa de neutralidade de quem escreve a reportagem e as diferentes formas com que o conteúdo pode ser apresentado. Assim, trata-se de uma atividade que estimula o protagonismo juvenil, pois os alunos podem denunciar, questionar e propor reflexões sobre diversos temas presentes em nossa sociedade, expressando-se também com diversas linguagens. Oriente os alunos a utilizar linguagem adequada ao público ao qual se destina a reportagem. As reportagens podem fazer parte de um projeto escolar, como um jornal ou um *blog*, e não precisam ser necessariamente divulgadas na forma de textos – podem ser reportagens de rádio ou de televisão.

## Elaboração de cartazes

Você pode propor aos alunos que confeccionem cartazes, ressaltando o potencial informativo por imagens. Por isso, oriente-os a elaborar cartazes em que as imagens transmitam ideias essenciais. Lembre-os de que os textos, além de serem relativamente sucintos, devem dialogar com as imagens.

Estimular os alunos a confeccionar cartazes interessantes e que mobilizem mais leitores pode ser outra interessante tarefa a ser pedida pelo professor de Biologia. Os cartazes podem ser expostos na própria instituição escolar ou na comunidade onde ela se localiza, tornando mais significativa a ação pedagógica da atividade proposta.

## Estudos do meio

Os estudos do meio favorecem a interdisciplinaridade e a contextualização, desafiando as diversas disciplinas escolares a aproximarem-se em busca de análises sobre a realidade, que pode ser mais próxima ou mais distante dos alunos.

Constituem boas oportunidades dessa forma de abordagem visitas a parques, museus de Ciências e Tecnologia, exposições temáticas. Esse tipo de atividade deve ser previamente planejado com a direção da escola, cuidando das questões referentes à segurança dos alunos no deslocamento até o local escolhido e durante a atividade.

Estudos do meio são momentos em que os alunos, instigados por uma questão problematizadora, vão a campo observar, coletar dados, registrar a realidade, confrontar hipóteses etc. Antes de sair a campo é importante que esteja claro aos educandos qual os objetivos do estudo e imprescindível que as tarefas estejam divididas e que se tenham os materiais necessários e ds.

Se possível, convide outros professores para trabalhos conjuntos, enriquecendo assim a atividade e possibilitando aos alunos entender a realidade presente no meio de forma mais ampla.

As atividades fora da sala de aula devem ser planejadas em conjunto com a coordenação e a direção da escola, para organização das etapas necessárias (transporte, autorização dos responsáveis, materiais necessários etc.).

Estudos do meio bem articulados e definidos em parceria com os alunos podem desenvolver habilidades de comunicação científica e ajudar os educandos a estabelecer importantes relações entre os fenômenos observados no local de estudo e os conhecimentos presentes no livro didático. Isso

aumenta a atitude investigativa dos alunos e promove uma compreensão articulada dos fenômenos naturais e dos processos tecnológicos presentes em nossa sociedade.

## Entrevista

Dependendo dos objetivos da atividade, a entrevista pode buscar a opinião de especialistas em determinado assunto, de pessoas da comunidade escolar ou do entorno da escola. Oriente os alunos a prepararem-se para a entrevista, traçando os objetivos dessa atividade, valorizando o momento em que estarão em contato direto com o entrevistado e redigindo um roteiro de perguntas. Os alunos podem fazer entrevistas mais abertas, no sentido de apresentarem questões-chave, mas estando atentos para abordar temas que pareçam relevantes ao(a) entrevistado(a). É essencial que o(a) entrevistado(a) receba a transcrição da entrevista e dê um retorno sobre a versão transcrita e sobre o que os alunos pretendem divulgar ao público. Ressalte que o(a) entrevistado(a) tem o pleno direito de solicitar a modificação de informações que lhe pareçam indevidas. Discussões sobre posturas éticas do entrevistador, respeito ao entrevistado e formas de registro das entrevistas são fundamentais antes de os alunos saírem a campo.

## Apresentações de trabalhos para a classe

Os alunos podem apresentar seus trabalhos de diversas maneiras, na forma de seminários, por exemplo, e usando recursos variados para incrementar a apresentação, como dramatização, dinâmicas que envolvam a plateia etc. Independente da forma de apresentação, compartilhe com os alunos previamente os objetivos da atividade e que aspectos serão avaliados.

Um ponto importante a ser trabalhado ao longo das apresentações de classe é o espaço para se ouvir o outro e também respeitar a opinião de todos. Se possível peça que os alunos registrem o que viram ou ouviram durante as apresentações para que se crie o hábito de que os alunos estejam realmente atentos durante esse tipo de atividade. Refletir sobre o que se ouve são habilidades que precisam ser desenvolvidas na escola, pois estão pouco presentes fora da sala de aula. Garanta que esse registro seja instigante para os alunos e, se possível, que ele possa ser utilizado em alguma outra atividade escolar.

## Jogos

Seus objetivos devem ser explicitados, e as regras previamente combinadas com a turma, a fim de que os jogos sejam explorados como potentes recursos

didáticos. Sempre que possível, deve-se levar os alunos à construção de regras ou instruções adicionais para os jogos.

Planeje tempo suficiente para que os jogos aconteçam sem interrupção antes de seu término, o que desmotivaria os alunos e reduziria o potencial pedagógico da atividade. O término do jogo é um momento pedagogicamente importante, em que é possível organizar uma discussão a respeito da atividade. Nessa discussão, podem ser destacados os conceitos envolvidos no jogo, as dúvidas que surgiram e como os alunos autoavaliam sua participação. Assim, a discussão pode ter dois objetivos principais:

a) relacionar o jogo com os conceitos estudados, aproveitando para avaliar os efeitos da atividade no aprendizado – é recomendável que os alunos registrem as relações feitas;

b) permitir que os alunos avaliem o jogo, o que aprenderam, que estratégias utilizaram, o que fariam diferente se jogassem novamente, o que sentiram a respeito da interação com os colegas.

Mediar situações de conflito entre os alunos em relação às regras é tarefa fundamental do(a) professor(a). Neste tipo de atividade seu papel é coadjuvante. O próprio jogo e seu desenvolvimento pelos alunos influenciará na aprendizagem dos conteúdos envolvidos.

## Realização de pesquisas

As pesquisas podem ser realizadas em grupos ou individualmente, no ambiente escolar ou fora dele. Oriente o trabalho de pesquisa, conversando inicialmente com os alunos sobre:

- a importância de sempre consultar diversas fontes de pesquisa, reconhecendo quais seriam as principais;
- a relevância em citar as devidas referências;
- a importância de selecionar o local onde é possível obter informações (museus e bibliotecas), incluindo pessoas que possam ser entrevistadas;
- a necessidade de clareza sobre o objetivo da pesquisa; aponte aos alunos que aspectos serão avaliados (se deve ser uma revisão bibliográfica, um relatório contendo resultado de uma observação ou atividade prática, ou uma análise crítica de temas tratados na mídia, entre outras possibilidades);
- os tópicos a serem pesquisados.

## Pesquisas na internet

Atualmente é muito comum que as pesquisas escolares sejam feitas pela internet, quando os alunos têm acesso a essa ferramenta (Almeida, 2008). Embora seja aparentemente de fácil uso, a rede mundial de computadores traz muitos benefícios e alguns riscos importantes de serem conhecidos e considerados. Podemos incluir entre as vantagens: a diversidade de informações sobre qualquer tema pesquisado, o acesso a bibliotecas e museus de várias partes do mundo, a possibilidade de se pesquisar conteúdo não somente em formato de texto, mas também de imagens e vídeos etc. Entre os riscos das pesquisas na internet estão a qualidade das informações publicadas – nem sempre verídicas ou imparciais, podendo ter caráter opinativo), a facilidade de dispersão pelas possibilidades de *links* geralmente oferecidos por um *site*, o contato com conteúdos nem sempre adequados para a faixa etária do aluno e a exposição a propagandas.

A internet pode ser uma excelente ferramenta de pesquisa escolar, mas os alunos devem aprender a utilizar esse recurso com qualidade e segurança. Pesquisas recentes mostram que, quando não são orientados, os educandos criam critérios próprios para fazer suas investigações, o que nem sempre acarreta em resultados adequados ou livres de riscos (Almeida, 2008; Unicef, 2013). Cabe ao professor assumir o papel de mediador e articulador no processo de construção de conhecimento dos alunos, trazendo orientações e recomendações que transformem as pesquisas escolares na internet em uma forma de desenvolver autonomia com segurança (Oliveira, 2008).

Usamos o termo “navegar” para o processo de busca de informações na internet. Se imaginarmos todo o conhecimento disponível como um imenso oceano de informações, é possível perceber o quão grande é a aventura de encontrar algo em meio ao enorme volume de textos, imagens, vídeos, simulações etc. Com esta analogia, percebemos que é muito mais fácil navegar quando temos um bom mapa, bons instrumentos e orientações eficientes – e esse é o papel do educador quando o assunto é internet.

Seguem algumas dicas mais práticas para auxiliar a traçar esse “mapa de navegação”:

– Torne-se um professor pesquisador (se você já não for um). Conhecer os riscos e benefícios da rede



de computadores é fundamental para melhor orientar os alunos. Um bom material para iniciar esse estudo é a cartilha “Navegar com segurança: por uma infância conectada e livre da violência sexual”, da ONG Childhood Brasil (2012).

– Proponha um tema e faça com que eles identifiquem o que sabem e o que não sabem sobre o assunto. Pesquisas a partir de suas dúvidas são mais significativas e diminuem a dispersão.

– Ajude-os a escolher palavras-chave específicas para a pesquisa. Uma dica é usar duas ou mais palavras, pois quanto maior o número de palavras, mais refinada será a busca.

– Indique um *site* de busca eficiente e confiável. Informe-se sobre qual é a ferramenta de segurança contra conteúdos impróprios que o *site* possui e oriente os alunos a instalá-la. Garanta que essa proteção esteja instalada nos computadores da escola.

– Encontre e sugira algumas fontes de informação importantes que devam ser pesquisadas (há diversas sugestões no livro).

– Priorize *sites* de organizações governamentais, instituições de pesquisa ou de grandes instituições que possuem maior rigor em suas publicações.

– Proponha aos alunos que leiam e anatem os dados relevantes encontrados e sempre comparem as informações, checando a veracidade do que foi obtido em cada fonte consultada.

– Oriente-os a não clicar em anúncios ou janelas com ofertas ou propagandas.

– Avalie a pesquisa feita como um processo no qual os alunos estão aprendendo a questionar de forma construtiva e a buscar respostas aos seus questionamentos.

– Proponha que ao final de uma pesquisa os alunos redijam resumos, esquemas ou outros produtos que possam ser compartilhados, mostrando que pesquisar é uma forma de organizar informações com uma determinada finalidade.

Uma pesquisa bem orientada pode desenvolver muito as capacidades de interpretação, julgamento e decisão dos alunos, contribuindo para o processo de construção da cidadania plena dos jovens. Além disso, ao aprenderem a pesquisar sobre suas dúvidas e a buscar respostas para suas inquietações em *sites* confiáveis e seguros, os alunos vão se transformando em autores sociais menos suscetíveis a discursos publicitários e certamente serão protagonistas de cenas sociais mais significativas para a sua vida e a de sua comunidade.

## Atividades práticas

As atividades práticas são fundamentais para o ensino de Biologia, pois ajudam os alunos a vivenciar de forma direta alguns dos fenômenos estudados. Não devem ser encaradas como passatempos, nos quais os conceitos que se deseja trabalhar não ficam evidentes para os educandos.

Os alunos podem ser envolvidos nas atividades práticas, desde o momento de preparação.

Ressalte a importância de posturas cuidadosas durante as atividades práticas; com isso, evitam-se acidentes, diminuem-se as despesas com materiais e pode-se ter maior clareza sobre o que foi desenvolvido e observado.

Algumas atividades práticas, dependendo do que será realizado, podem ocorrer fora do laboratório, desde que não ofereçam riscos aos alunos e a você. É o caso de montagem de modelos ou atividades em que não se usam reagentes, entre outras.

No caso de atividades em laboratório, se alguns alunos tiverem receio em manusear aparelhos, substâncias ou vidraria em geral, trabalhe essa questão, preparando-os para que o conhecimento sobre a própria estrutura do laboratório e sobre os materiais supere a insegurança. Da mesma maneira, ressalte que, com responsabilidade, planejamento, cooperação e atenção, os acidentes são evitados.

A seguir, apresentamos orientações ao trabalho em laboratório.

### A organização ideal do laboratório

Discuta com os alunos sobre a estrutura e organização do espaço. Nesse sentido, eles devem saber por que cada material deve ser acomodado em um determinado local. Da mesma maneira, é essencial que saibam a importância de cada região do laboratório. Observe na figura da página seguinte um exemplo de laboratório que oferece segurança.

Com base na figura, você pode verificar se as seguintes condições são adequadas e satisfatórias:

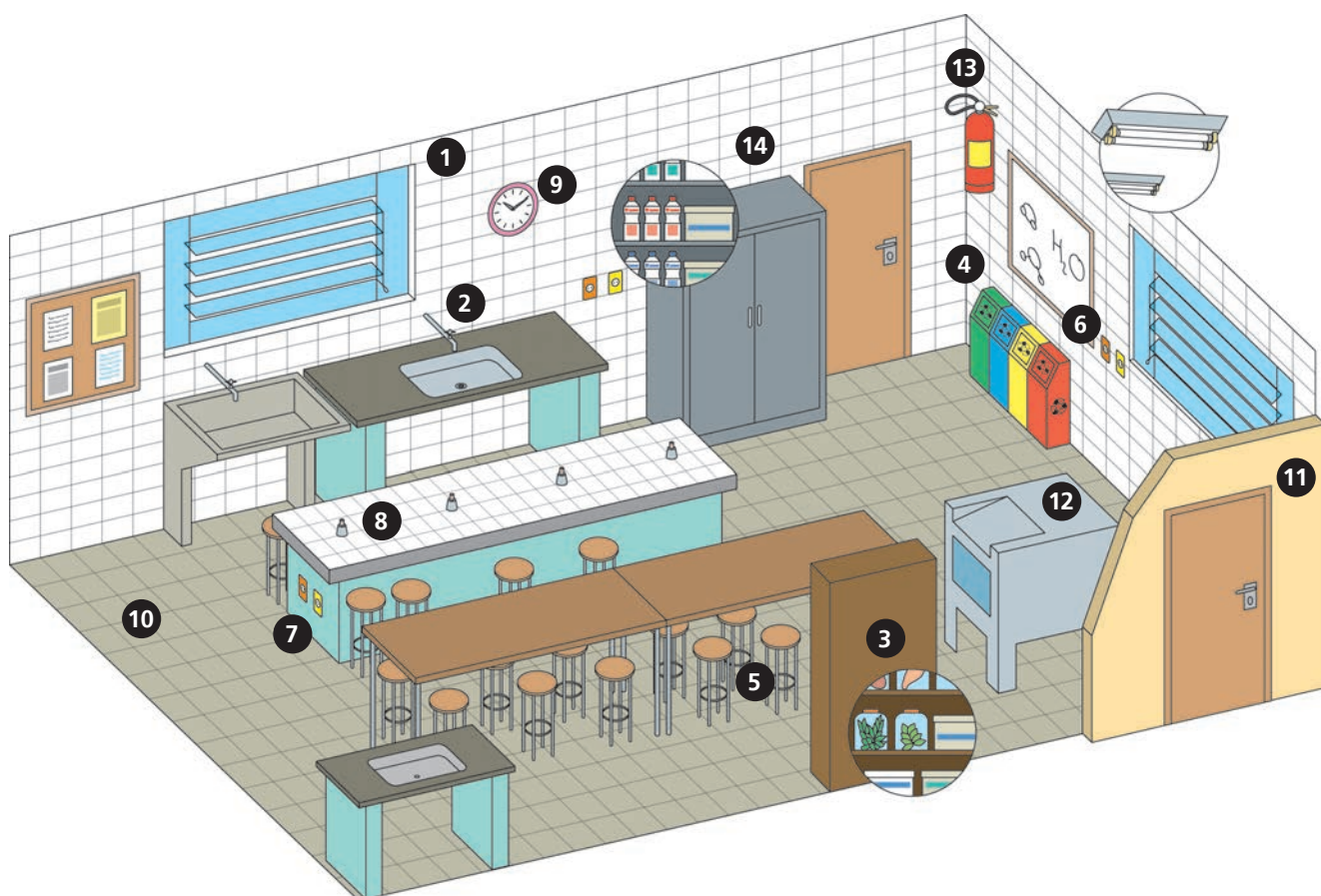
1. As janelas favorecem a ventilação e a claridade apropriadas.
2. As pias e os chuveiros podem ser facilmente utilizados em situações em que isso seja necessário.
3. Os materiais e reagentes têm rótulos para serem facilmente identificados e encontram-se em uma altura apropriada, ao alcance das mãos e “dos olhos”.

4. Há lixeiras para os diversos tipos de resíduos, à frente e ao fundo do laboratório, o que facilita a circulação das pessoas; há recipientes com os devidos rótulos para descarte de reagentes.
5. As bancadas estão livres de objetos e situam-se a distâncias adequadas entre si, de modo que a circulação pelo laboratório não está prejudicada; os bancos são confortáveis e contam com antiderrapantes em seus pés.
6. Há quadro de giz ou similar, visível a todos.
7. As tomadas indicam a tensão (110V/ 220V).
8. A fonte de gás está evidente na bancada; para cada bancada, há torneiras de segurança, da parede até o fogareiro: uma para o laboratório todo e duas em cada bancada.
9. Há relógio para controle do tempo.
10. O piso é antiderrapante e não apresenta desnível.
11. Há duas portas que facilitam a entrada e a saída de pessoas.
12. Há capela para manipulação de substâncias que possam ser irritantes durante sua manipulação.
13. Há um quadro de emergência, situado perto da caixa de primeiros socorros, onde se encontram mantas e sacos de areia para combater fogo; há extintores de incêndio, em locais livres e visíveis.
14. Antes do início da aula, deve-se sempre verificar se as bocas de gás estão devidamente fechadas e inspecionar se há substâncias derramadas no chão e nas bancadas; nesse caso, deve ser feita a limpeza.

### Preparação para a aula em laboratório

Discuta com os alunos:

- os objetivos da atividade que será realizada e os métodos a serem adotados; estimule os alunos a explicar os procedimentos uns aos outros, possíveis alternativas metodológicas e até mesmo o que deve ser feito em situações de acidentes. Para isso, sem alarmá-los, sugira uma situação hipotética de acidente e lhes peça que expliquem o que deve ser feito;
- a descrição dos materiais a serem utilizados;
- o descarte adequado de cada substância utilizada.



Eduardo Borges/Arquivo da editora

## Postura em laboratório

Oriente os alunos a:

Ilustrações: Osvaldo Sequeitin/Arquivo da editora



Vestir-se adequadamente no dia da aula em laboratório, calçando sapatos e roupas os mais fechados possíveis.

Sempre comunicar imediatamente a você todo acidente que aconteça no laboratório. Nunca ingerir alimentos ou água em laboratório.



Antes de entrar no laboratório, trocar as lentes de contato por óculos, prender os cabelos, se estes forem médios ou longos, e vestir avental de lgodão, devidamente abotoado.

Somente utilizar substâncias com rótulos; caso encontrem uma substância sem identificação, devem comunicar o fato a você.



Nunca manipular substâncias inflamáveis próximos a quaisquer fontes de calor.

Não deixar livros sobre a bancada de trabalho.

Lavar as mãos após as atividades.

### Finalização da aula em laboratório

Antes da finalização da atividade em laboratório, reserve alguns minutos para você e os alunos:

Evitar o contato de substâncias com a pele, boca ou olhos.

Pipetar substâncias somente com equipamentos, como pera de pipetação, nunca com a boca.



Verifiquem se as bocas de gás estão devidamente fechadas.



Sempre trabalhar acompanhados em laboratório e tirar as dúvidas com o professor.

- › Inspecionarem se há substâncias derramadas no chão e nas bancadas; nesse caso, deve ser feita a limpeza.
- › Verifiquem se há materiais em locais inapropriados.
- › Lavarem as mãos.

Professor(a), um material de referência a respeito da importância da experimentação no ensino e na organização de laboratórios escolares é o documento *Laboratórios*, do Curso Técnico de Formação para os Funcionários da Educação. Disponível em: <<http://portaldoprofessor.mec.gov.br/storage/materiais/0000013620.pdf>>.

Acesso em: 30 abr. 2013.



## Avaliar em processo e com diversidade de instrumentos e situações de aprendizagem

A avaliação deve ser entendida como uma alavanca que impulsiona o êxito de cada aluno(a) e da escola como um todo. Para tanto, deve ser contínua e evolutiva, o que dará a você subsídios para a percepção de avanços e de dificuldades, tanto seus quanto os de seus alunos. Assim, a avaliação constitui um instrumento fundamental na ação pedagógica e serve de ponto de partida para novas aprendizagens.

Machado (2006) ressalta a importância do processo avaliativo:

Para avaliar, então, é preciso ir além da medida, recorrendo a indicadores mais complexos, a indícios de competência. E dado que as competências são múltiplas e variadas, é praticamente impossível apreendê-las recorrendo a um só tipo de instrumento. **Os instrumentos de avaliação funcionam como canais de apreensão/manifestação de competências. Eles também precisam ser múltiplos, variados, compondo um amplo espectro de formas.** Um grande desafio para a construção de um sistema de avaliação pertinente é o discernimento na escolha das componentes de tal espectro de instrumentos.

Sem dúvida, provas são importantes instrumentos de avaliação. Em sua forma mais comum, que é a escrita, representam momentos em que se exige a demonstração da capacidade de explicitação do que se aprendeu, em espaço e tempo determinado. Em sua forma oral, menos frequente nos dias atuais, são abertos outros canais de expressão e de apreensão de indícios reveladores do real conhecimento dos alunos. Quando são eliminadas as avaliações orais, em razão, muitas vezes, não de seu caráter indesejável, mas sim da impossibilidade de realizá-las, decorrente do grande número de alunos, outros instrumentos precisam ser criados visando ao mesmo fim. Nas provas orais, parcelas importantes de conhecimentos tácitos, ainda que não sejam diretamente expressos, sustentam aquilo que se consegue explicitar. **Um olhar, um gesto, uma interjeição podem significar muito.** Às vezes, podem revelar mais do que as próprias palavras.

Ainda no que se refere às provas, as modalidades com consulta e sem consulta são, ambas, importantes. Podem apreender diferentes formas de manifestação de competências. Há coisas na vida que temos que fazer sozinhos, isoladamente, sem recorrer a bancos de dados ou a outras pessoas. Mas há muitas outras tarefas que importa que desempenhemos bem, mas não importa se consultamos enciclopédias, manuais, internet, ou amigos mais sabidos. As duas formas de manifestação de competência – com e sem consulta – são valiosas e devem compor o espectro de instrumentos de avaliação.

(Machado, 2006, p.106-109, grifos nossos)

A avaliação realizada ao longo de uma sequência didática, e não somente em seu final, permite aos alunos reverem ações e planejarem outras, a fim de desenvolverem novas aprendizagens. Nesse sentido, os apontamentos do(a) professor(a) são essenciais aos alunos com dificuldades em identificar o que ainda não sabem e/ou àqueles que não sabem como superar essas dificuldades. O(a) professor(a) também pode orientar os alunos que desejam aprimorar o que já aprenderam.

Por outro lado, na avaliação processual surgem possibilidades para o(a) professor(a) refletir a respeito de sua própria atuação, podendo, assim, encontrar alternativas didáticas a suas práticas de ensino.

Esta coleção se baseia nesses pressupostos. Ao longo dos diversos capítulos são propostas atividades que permitem tanto ao professor quanto aos seus alunos realizar uma avaliação, acompanhando o processo de aprendizagem e tornando-os sujeitos ativos desse processo.

Compartilhe com os alunos o que será avaliado com cada instrumento e situação de ensino antes de sua execução, por exemplo: uso da linguagem, capacidade de argumentação, aspectos conceituais e adequação da apresentação de um trabalho.

Toda avaliação deve ser realizada e interpretada de acordo com objetivos previamente estabelecidos e discutidos com os alunos.

A diversidade de instrumentos e situações de avaliação possibilita que a singularidade de cada aluno(a) seja valorizada pela escola.

No processo avaliativo, é fundamental a utilização de diferentes linguagens, como a verbal, a oral, a escrita, a gráfica, a numérica, a pictórica, de forma a considerar as diferentes aptidões dos alunos. Por exemplo, muitas vezes o aluno não domina a escrita suficientemente para expor um raciocínio mais complexo sobre como compreende um fato histórico, mas pode fazê-lo perfeitamente bem em uma situação de intercâmbio oral, como em diálogos, entrevistas ou debates (Brasil, 2002-a, p. 98-99).

Segundo Hoffmann (2005), não somente a dimensão individual deve ser considerada pela avaliação, mas também a coletiva:

É preciso valorizar as diferenças individuais sem jamais perder de vista o contexto interativo. **Escola é sinônimo de interação.**

Toda a relação de saber se dá a partir da interação do sujeito com os objetos de conhecimento, da relação com os outros e da relação consigo próprio. Significa que cada aluno, interativamente, descobre o mundo à sua própria maneira, diferente e única. Mas aprende o mundo de forma mais rica e desafiadora na medida de sua maior socialização e da cooperação

dos adultos que medeiam o seu saber. [...] É função da avaliação a promoção permanente de espaços interativos sem, entretanto, deixar de privilegiar a evolução individual ou de promover ações mediadoras que tenham sentido coletivo.

Para que o processo avaliativo tenha sentido, as propostas educativas precisam estar articuladas em termos de gradação e complexidade. **O objetivo é fazer desafios superáveis aos alunos, de modo que as respostas de cada um provoquem o professor a fazer outras perguntas sobre elas, em outras dimensões, sobre outros assuntos, sob diferentes formas e provocativas também em termos de estratégias de pensamento.** Nesse sentido, a heterogeneidade, ou seja, os diferentes saberes dos alunos, que cooperam entre si e debatem os assuntos, é fator fortemente favorecedor da melhora das aprendizagens. [...]

Avaliação é, portanto, uma ação ampla que abrange o cotidiano do fazer pedagógico e cuja energia faz pulsar o planejamento, a proposta pedagógica e a relação entre todos os elementos da ação educativa.

(Hoffmann, 2005, p. 16 e 17, grifos nossos)

Ao avaliar utilizando um conjunto de instrumentos e situações de ensino ao longo de uma sequência didática, será possível obter uma diversidade de informações sobre cada aluno.

Torna-se então necessário sintetizar essas informações, tarefa complexa e um tanto subjetiva. Reforçamos a importância de você considerar as necessidades educacionais de cada aluno, reconhecer seus esforços e progressos ao longo do tempo. Valorize não somente aspectos quantitativos, mas também qualitativos das produções e atuações, assim como os conteúdos de aprendizagem conceituais, procedimentais e atitudinais desenvolvidos.

Avaliação é diferente de examinação, esta última servindo apenas para verificar se os aprendizes alcançaram ou não um patamar desejado, muitas vezes gerando uma classificação ou *ranking*. O ato de avaliar consiste, por sua vez, de três passos: constatar a realidade, qualificar essa constatação e tomar decisões a partir dessa verificação.

Assim, avaliar pressupõe orientar o curso do processo de ensino e não apenas examinar os alunos e sua aprendizagem. É de acordo com tais pressupostos que inserimos atividades para avaliação nesta coleção.

Outro aspecto que consideramos fundamental é a avaliação da aprendizagem do ponto de vista do próprio educando. A **autoavaliação** é essencial para que os alunos reflitam a respeito de como têm

aproveitado as situações de ensino e explorado seus recursos cognitivos. É importante que a autoavaliação ocorra ao longo do processo educacional, a fim de que você e os alunos possam discutir aspectos relacionados ao ensino e à aprendizagem, enaltecendo a parceria educador-educandos.

Chame a atenção de cada aluno para o que ele percebia de si e do que sabia sobre os conteúdos no início da sequência didática e o que passou a compreender sobre si e sobre os conteúdos após o ensino desenvolvido. A maioria das estratégias listadas anteriormente nesse Manual serve como bons propiciadores de autoavaliações.

## Estrutura da coleção

Elaborada em linguagem clara e adequada ao nível médio de ensino, esta coleção apresenta temas e atividades diversas, que possibilitam o desenvolvimento de aprendizagens.

Os textos da coleção priorizam o diálogo com os alunos e foram desenvolvidos de forma a proporcionar uma leitura fluida e clara. Essa característica é essencial para que a compreensão dos conhecimentos científicos relacionados à Biologia se desenvolvam pela investigação, pelo questionamento e pela divulgação dos resultados.

Na escola básica, os alunos devem compreender que as definições científicas não são “dogmas”. É importante que os alunos percebam que os conceitos não são absolutos nem imutáveis; eles modificam-se, influenciados por novos estudos e debates na comunidade científica.

Um comentário faz-se necessário a respeito do uso de palavras em itálico no texto. De acordo com as regras de nomenclatura biológica, nomes de espécie e gênero devem ser destacadas em itálico (mais comum em textos impressos) ou sublinhadas.

Segundo normas de redação da Língua Portuguesa, palavras estrangeiras devem ser destacadas em um texto, também utilizando-se o itálico. Vejamos um exemplo: no volume 1, comentamos a respeito da hipótese do *Big Bang*, origem do universo – o termo *Big Bang*, expressão da língua inglesa, vem destacado em itálico.

No caso de palavras de origem latina ou grega que constituem nomes de outras categorias taxonômicas que não espécie ou gênero, optamos por não as destacar em itálico, para não confundir os alunos em relação às regras da nomenclatura biológica. A família das jiboias, por exemplo, denomina-se família Boidea – palavra latinizada que não aparece em itálico no texto.

Os nomes das estruturas estão atualizados de acordo com as nomenclaturas anatômica, citológica, histológica e humana, utilizando-se como base a obra *Tratado de Anatomia aplicada*, volumes 1 (1998) e 2 (1999), de L. J. A. Di Dio. Muitos nomes oficiais são diferentes daqueles tradicionalmente utilizados e, por isso, em muitos casos o nome antigo é apresentado aos alunos entre parênteses.

O estudo da Biologia não pode prescindir dos termos técnicos próprios da área, porém esses termos são utilizados ao longo do texto de forma criteriosa e adequada, priorizando a compreensão dos conceitos.

Todos os livros da coleção apresentam um **glossário etimológico**. A etimologia ajuda a compreender a origem de alguns termos próprios da Biologia, o que

favorece a construção de significado em vez de uma simples memorização. A referência ao glossário etimológico encontra-se nos textos e na forma de atividades propostas em pequenos boxes ao longo dos capítulos.

Uma breve apresentação da estrutura da obra é feita no início de cada livro. Cada volume da coleção foi estruturado em unidades temáticas, e estas, subdivididas em capítulos.

O início de cada unidade é marcado por uma imagem e algumas questões que se propõem a motivar os alunos. Nesse momento inicial, não se pretende que as questões sejam respondidas; a imagem pode levar os alunos a uma discussão e/ou reflexão, despertando seu interesse pelo tema – há sugestões de abordagem na parte específica deste Manual.

Os capítulos apresentam pequenos boxes que complementam o texto principal. Esses boxes apresentam um título, de acordo com seu conteúdo:



#### REÚNA-SE COM OS COLEGAS

Atividades que buscam promover a interação entre os alunos, estimulando a capacidade de argumentar e o respeito em ouvir opiniões alheias. Muitas questões propostas levam os alunos a expor conhecimentos prévios.



#### CURIOSIDADE

Como o próprio título indica, este box traz breves textos contendo informações complementares e curiosas a respeito de um assunto, muitas vezes promovendo relações com temas de outras áreas ou com saberes populares.



#### PENSE E RESPONDA

Atividades que podem ser feitas individualmente, constituindo questões desafiadoras, que exigem integração de conceitos e ideias para serem respondidas.



#### MULTIMÍDIA

Sugestões de livros, filmes e sites que complementam o tema estudado.



#### RECORDE-SE

Definições que devem ser destacadas naquele momento, por pertencerem a um tema trabalhado anteriormente ou para salientar aos alunos sua importância para o estudo daquele tema.



#### ATENÇÃO

Os conceitos científicos são definidos em sua forma geral, mas para toda regra existe exceção. Casos particulares, exceções ou lembretes importantes são colocados nesses boxes.



### ATIVIDADE PRÁTICA

Em alguns capítulos são propostas **atividades práticas** (demonstrações e experimentos), que devem ser executadas se existirem condições de segurança e de supervisão durante a atividade.



É possível reconhecer nas seções mencionadas as diretrizes pedagógicas que orientaram a produção desta coleção; os diferentes tipos de boxes permitem desenvolver diversas habilidades, tendo como contexto os temas da Biologia.

As imagens presentes na coleção têm a finalidade de complementar os textos, oferecendo aos alunos uma segunda opção de leitura, possibilitando maior compreensão do assunto em questão.

Todas as imagens apresentadas nos capítulos possuem legendas, para facilitar o estudo e a interação entre texto e imagem. As legendas apresentam em destaque as palavras-chave que descrevem aquela imagem. No caso dos esquemas, tabelas e gráficos, há também um título, que facilita a identificação, pelo leitor, do tema tratado.

Logo no início de cada livro, a organização dos capítulos é apresentada ao aluno, para que ele se familiarize com a estrutura da obra. No caso de esquemas e dos vários tipos de micrografias, ícones são utilizados para permitir a rápida identificação.

Todos os capítulos apresentam as seguintes seções finais:

### VAMOS CRITICAR O QUE ESTUDAMOS?

Os textos da seção auxiliam na compreensão de que o conhecimento científico não é absoluto e acabado. É nessa oportunidade também que são discutidos certos litígios acadêmicos em torno de conceitos, são feitas alertas quanto a detalhes de nomenclatura, Sistema Internacional de Unidades, atualizações recentes, detalhes que escapam ao nível de escolaridade, conflitos entre o senso comum e a posição da Ciência, informações complementares que esclarecem dúvidas que eventualmente possam surgir, alterações em conceitos tradicionalmente utilizados e vários outros tipos de considerações, todos no sentido de ampliar os horizontes do estudante, eliminar dúvidas e evitar a compreensão indevida de conceitos.

### LEITURA

Texto para enriquecimento do assunto trabalhado. Toda leitura é sempre acompanhada de uma ou mais questões que permitem avaliar a compreensão que se teve do texto.

## ATIVIDADES

Questões para elaborar sínteses do conhecimento construído, realizar uma autoavaliação e aplicar os novos conhecimentos em situações hipotéticas, relacionadas a problemas ambientais, sociais e outros. As atividades foram elaboradas levando-se em conta o desenvolvimento de competências e habilidades. Todas as atividades devem ser registradas no caderno, uma ferramenta fundamental de estudo pessoal, complementar ao livro.

As atividades estão organizadas em subseções:

### Revendo e aplicando conceitos

Questões que convidam os alunos a rever conceitos trabalhados no capítulo, estabelecendo relações entre eles e com outros conceitos.

### Trabalhando com gráficos

Questões que envolvem a interpretação de gráficos, seja pela construção de um gráfico a partir de dados fornecidos, seja pela leitura dos dados contidos em um gráfico.

### Ciência, Tecnologia e Sociedade

Questões que relacionam temas do capítulo a questões ambientais, políticas e/ou sociais, incentivando os alunos a mobilizarem conhecimentos para analisar o mundo que os cerca. Esta seção não aparece necessariamente em todos os capítulos, porém questões com tal enfoque sempre estão presentes, seja ao longo do texto ou como parte de outras seções de atividades.

### Questões do Enem e de vestibulares

Seleção de questões extraídas do Exame Nacional do Ensino Médio (Enem) e de vestibulares recentes de diferentes entidades do país, para complementar o processo de autoavaliação da aprendizagem ao final de cada capítulo.

## Referências bibliográficas

ALMEIDA, R. Q. *O ensino aprendizagem em tempos de internet*. São Paulo: Associação de Leitura do Brasil, 2008. Disponível em: <<http://alb.com.br/arquivo-morto/anais-jornal/jornal4/palestrasPDF/rubensqueiroz.pdf>>. Acesso em: 27 abr. 2016.

AUSUBEL, D.; NOVAK, J.; HANESIAN, H. *Psicologia educacional*. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.

BRASIL. Edital nº 3, de 24 de maio de 2012. Exame Nacional do Ensino Médio – Enem 2012. Anexo II – Matriz de referência. Brasília, INEP. 2012. Disponível em: <[http://download.inep.gov.br/educacao\\_basica/enem/edital/2012/edital-enem-2012.pdf](http://download.inep.gov.br/educacao_basica/enem/edital/2012/edital-enem-2012.pdf)>. Acesso em: 18 abr. 2016.

BRASIL. Parâmetros Curriculares Nacionais – Ensino Médio. Brasília, Ministério da Educação, 2002-a. Disponível em: <[portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/blegais.pdf](http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/blegais.pdf)>. Acesso em: 28 mar. 2016.

BRASIL. PCN+ Ensino Médio. Orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais – Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília, Ministério da Educação. 2002-b. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>>. Acesso em: 28 mar. 2016.

BRASIL. Resolução nº 2, de 30 de janeiro 2012 – Define Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. Brasília, Ministério da Educação/ Conselho Nacional de Educação/ Câmara de Educação Básica. 2012. Disponível em: <[http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com\\_docman&task=doc\\_download&gid=9864&Itemid](http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=9864&Itemid)>. Acesso em: 28 mar. 2016.

CHILDHOOD INSTITUTO; WCF. *Navegar com segurança: por uma infância conectada e livre de violência sexual*. 3. ed. São Paulo: Cenpec; Childhood Instituto, 2012. Disponível em: <<http://new.netica.org.br/educadores/aquivos-cartilhas/navegue-com-seguranca.pdf?view=true>>. Acesso em: 27 abr. 2016.

CRUZ, J. B. *Laboratórios*. Brasília, Ministério da Educação, Universidade de Brasília, 2009.

Disponível em: <<http://portaldoprofessor.mec.gov.br/storage/materiais/0000013620.pdf>>. Acesso em: 28 mar. 2016.

DAYRELL, J. O jovem como sujeito social. *Revista Brasileira de Educação*, n. 24, set-dez, 2003. p. 40-52. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbedu/n24/n24a04.pdf>>. Acesso em: 28 mar. 2016.

Di DIO, L. J. A. *Tratado de anatomia aplicada*. v. 1. São Paulo: Póluss, 1998.

Di DIO, L. J. A. *Tratado de anatomia aplicada*. v. 2. São Paulo: Póluss, 1999.

FUNDO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A INFÂNCIA – UNICEF. *O uso da internet por adolescentes*. Brasília, 2013. Disponível em: <[http://www.unicef.org/brazil/pt/br\\_pesquisa\\_internet.pdf](http://www.unicef.org/brazil/pt/br_pesquisa_internet.pdf)>. Acesso em: 27 abr. 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS. Exame Nacional do Ensino Médio: Documento Básico 2000. Brasília: Inep, 1999.

HOFFMANN, J. *O jogo do contrário em avaliação*. Porto Alegre: Ed. Mediação, 2005.

KRASILCHIK. *Prática de ensino de Biologia*. São Paulo: Edusp, 2004.

MACHADO, N. J. *Educação: Projetos e valores*. São Paulo: Escrituras Editora, 2006.

OLIVEIRA, C. A. *A pesquisa escolar em tempos de internet: reflexões sobre essa prática pedagógica*. Tese de doutoramento. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2008. Disponível em: <[http://www.ppge.ufpr.br/teses/M08\\_oliveira.pdf](http://www.ppge.ufpr.br/teses/M08_oliveira.pdf)>. Acesso em: 28 abr. 2016.

SCARPA, D. L.; TRIVELATO, S. L. F. A linguagem e a alfabetização científicas: características linguísticas e argumentativas de artigos científicos. *Genética na Escola*, v. 7, n. 2, 2012, p. 46-57.

UNESCO. Declaração Mundial sobre Educação para Todos: satisfação das necessidades básicas de aprendizagem, Jomtien 1990. Unesco, 1998. Disponível em: <<http://unesdoc.unesco.org/images/0008/000862/086291por.pdf>>. Acesso em: 28 mar. 2016.

# Orientações e sugestões para o trabalho com este volume

## UNIDADE 1

### Ser humano: fisiologia e saúde

**Capítulo 1** – Locomoção

**Capítulo 2** – Coordenação nervosa e sentidos

**Capítulo 3** – Digestão e nutrição

**Capítulo 4** – Respiração, circulação e excreção

**Capítulo 5** – Controle hormonal e reprodução

#### Objetivos gerais da unidade

O foco desta unidade temática é o ser humano, sendo o objetivo principal o de promover o conhecimento das funções básicas do organismo humano, possibilitando que esse conhecimento seja relacionado às condições de saúde do indivíduo e da população.

Entendemos que a compreensão básica da organização e do funcionamento do organismo humano representa elemento essencial para os alunos tomarem decisões favoráveis aos hábitos de vida saudáveis e ao respeito ao corpo.

Ao longo dos capítulos, as leituras e as atividades foram elaboradas com o intuito de oferecer aos alunos reflexões e desafios que envolvam o uso dos conhecimentos adquiridos, bem como conexões entre conceitos científicos e situações do cotidiano.

A partir do estudo do corpo humano, os alunos também poderão aplicar conceitos trabalhados em outros momentos do curso de Biologia, tais como composição química e metabolismo energético da célula, histologia, embriologia, evolução e doenças humanas causadas por vírus, bactérias, protozoários e vermes.

A unidade se encerra com o estudo da reprodução humana, tema que permite abordar dois pontos fundamentais na saúde dos jovens: a prevenção de doenças sexualmente transmissíveis e o planejamento

familiar pelos métodos contraceptivos. Esse tema também gera interesse para o estudo da unidade seguinte – Genética –, que trata dos princípios da hereditariedade.

#### Abertura da unidade



A abertura desta unidade traz a fotografia do nascimento de uma criança, no momento em que acabou de deixar o útero materno. Nascemos pequenos e indefesos, necessitando de leite materno e de cuidados por tempo relativamente prolongado, em comparação ao que ocorre com a maioria dos outros mamíferos.

Essas características são consideradas ponto de partida para propor aos alunos algumas questões, tais como: Que características apresentadas pelo ser humano são comuns aos mamíferos? Que características diferenciam o ser humano dos outros mamíferos?



Na busca por respostas a essas questões, sugerimos a abordagem evolutiva e adaptativa. Nesta abordagem, os alunos poderão citar exemplos das particularidades do corpo humano. A evolução da espécie humana é tema do capítulo 13 deste livro, momento do estudo em que se pretende retomar conceitos vistos ao longo do volume.

Um aspecto que pode ser abordado por meio da fotografia de abertura é a presença de uma equipe médica assistindo o nascimento, em ambiente hospitalar. Com base na observação dessa imagem, pode-se tocar no tema saúde. Como os avanços na Medicina permitem melhorias na saúde da população? Quais atitudes simples do dia a dia podem garantir a saúde, em seus aspectos físicos e mentais? A partir dessa reflexão, fica entendido que a saúde do ser humano é o outro enfoque desta unidade.

As perguntas colocadas na abertura da unidade indicam os assuntos tratados nos capítulos, aguçando a curiosidade dos alunos. Não se pretende que as questões sejam respondidas neste momento inicial. Uma conversa a respeito da fotografia e das questões pode servir para despertar o interesse dos alunos e para o resgate dos conhecimentos prévios que eles possuem a respeito do tema.

## Capítulo 1

### Locomoção

#### Comentários gerais

Os seres humanos possuem características exclusivas, que os distinguem dos outros primatas e que certamente estão relacionadas à evolução da espécie, associadas, por exemplo, ao hábito bípede (modificações no sistema locomotor) e ao desenvolvimento da inteligência e da cultura (associado ao sistema nervoso).

Por isso, optamos por iniciar o estudo da anatomia e da fisiologia humanas com o aparelho locomotor e, no capítulo seguinte, com o sistema nervoso. Além do enfoque adaptativo, outro aspecto importante é o da saúde, que deve ser entendida em um sentido amplo, e não apenas como a ausência de doenças. A prevenção e o autocuidado são atitudes fundamentais a serem desenvolvidas nesta faixa etária.

Na juventude, os cuidados posturais merecem especial atenção. O estudo do esqueleto, das articulações e da interação entre ossos e músculos é fundamental para a compreensão da importância desses cuidados, entre os quais está a prática de atividades físicas. Nesse sentido, os professores de Educação Física podem ser convidados a participar do planejamento das aulas, o que favorecerá a abordagem interdisciplinar do tema.

Ao longo da unidade, pretende-se que os alunos percebam que, apesar de todas as pessoas compartilharem as características fundamentais de sua anatomia e fisiologia, existe grande variabilidade nos aspectos do corpo, o que torna cada indivíduo único. No contexto deste capítulo sobre locomoção, os alunos podem desenvolver um olhar crítico e sensível para as diferentes condições de deslocamento observadas entre as pessoas da escola, da família, da cidade. Esta percepção é fundamental para a abordagem do tema acessibilidade. No contexto do trabalho interdisciplinar com Educação Física, ela é também importante para que os alunos compreendam que cada um possui habilidades e limites físicos, que devem ser respeitados.

## Reflexões sobre o ensino de Biologia

### Página 11

#### Integração de Biologia e Educação Física

Sugerimos que o estudo do corpo humano, sua anatomia e fisiologia, seja feito com o objetivo maior de promover reflexões referentes à saúde e qualidade de vida. Tais reflexões poderão levar os alunos a fazerem escolhas conscientes e favoráveis a uma vida saudável.

Saúde é um conceito integral e interdisciplinar em sua natureza, pois envolve o bem-estar físico, social e emocional. O ensino dos temas de corpo humano e saúde pode estar alinhado à esta perspectiva, abordando aspectos que ultrapassam os processos biológicos. Atividades interdisciplinares podem ser enriquecedoras nesse sentido e vamos expor aqui uma sugestão de integração com a disciplina de Educação Física, com base no trabalho de Lorena, Filgueiras e Pechliye (2013).

Segundo essas autoras: “A fragmentação do conhecimento é muito presente nos processos de ensino e aprendizagem. Tal como é feita hoje, a organização curricular não beneficia o ensino de relações e os conteúdos acabam ficando soltos, de maneira que não fazem sentido para os alunos (ZABALA, 2002)”.

A partir disso, foi elaborada uma sequência de aulas para o Ensino Médio, com atividades diversas envolvendo Biologia e Educação Física, tendo como tema o sistema cardiovascular. Nas aulas de Educação Física, foram abordados conceitos como a frequência cardíaca (FC), com a possibilidade de os alunos verificarem em situações práticas a importância da medida da FC para manter um nível saudável de atividade física, dependendo das características de cada pessoa e do tipo de atividade.

Veja as vantagens de se organizar uma sequência didática com enfoque interdisciplinar:

As sequências didáticas, que são métodos de perspectiva processual que incluem fases de planejamento, aplicação e avaliação (ZABALA, 1998), devem ser elaboradas a partir de conteúdos adequados para cumprir seus objetivos, além de apresentar alguns aspectos determinantes do processo de ensino: levantamento de conhecimentos prévios em relação ao conteúdo a fim de que os alunos possam entrar em conflito com suas concepções iniciais e, assim, buscar novos conhecimentos; apresentação de conteúdos de forma significativa e funcional, levando em conta as competências atuais dos alunos para que eles estabeleçam relações entre os novos conteúdos e seus conhecimentos prévios por meio de construções pessoais. Elas também devem permitir que o aluno adquira habilidades que o levem a ser cada vez mais autônomo em relação à sua aprendizagem (ZABALA, 1998).

Dessa maneira, as sequências didáticas se tornam instrumentos importantes para estabelecer relações entre as diversas áreas. Ao fazer uso das atividades propostas, o professor aproxima os conteúdos da realidade dos alunos, incentiva a busca pelo conhecimento e estimula-os a formar uma visão mais global dos conteúdos que serão trabalhados (ZABALA, 1998). Além disso, elas permitem que se desenvolva um processo de reflexão por parte do professor, que consegue enxergar sua prática com um olhar mais crítico [...]. (LORENA; FILGUEIRAS; PECHLIYE, 2013)

A partir dessas considerações, esperamos inspirar projetos interdisciplinares com Educação Física ao longo do estudo desta unidade. Neste capítulo, que trata dos movimentos do corpo, os alunos podem praticar e analisar diferentes movimentos, com um olhar para a interação de ossos, músculos e articulações, e para os cuidados posturais e limites saudáveis para o corpo.

Fonte:

LORENA, F. B.; FILGUEIRAS, I. P.; PECHLIYE, M. M. Relações entre biologia e educação física: o olhar de especialistas sobre uma proposta de sequência didática. *Revista Acadêmica de Educação do ISE Vera Cruz*, v. 3, n. 1, 2013, p. 103-118. Disponível em: <<http://iseveracruz.edu.br/revistas/index.php/revistaveras/article/view/119/110>>. Acesso em: 21 abr. 2016.

## Sugestões de atividades complementares

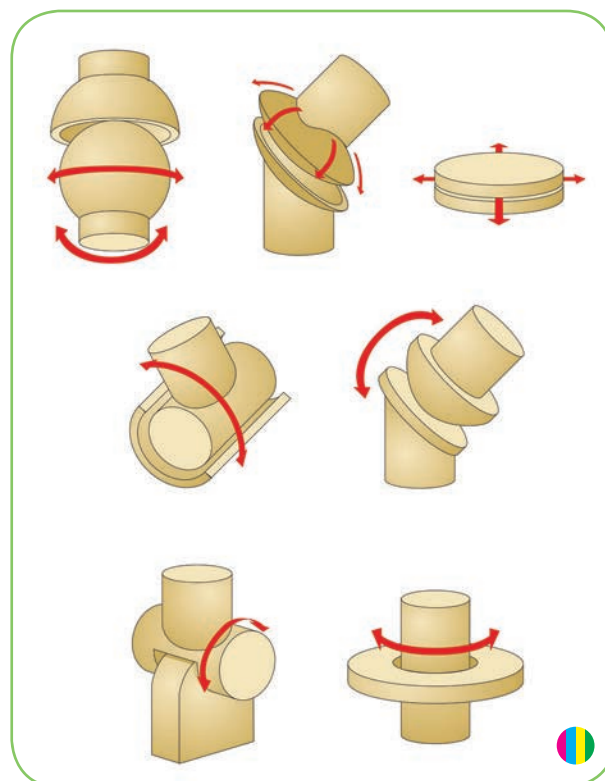
### Página 13

#### Alavancas no esqueleto do ser humano

Proponha aos alunos a análise do esqueleto humano, a fim de que tentem identificar nas articulações os três tipos de alavancas: interfixa, interpotente e inter-resistente. Os professores de Física poderão contribuir muito com a atividade.

Sugerimos duas partes para esta atividade. Na primeira parte, os alunos devem elaborar esquemas simplificados que representem como funcionam as articulações

móveis do corpo humano. Outra possibilidade é apresentar aos alunos esquemas como os mostrados a seguir, representando os diferentes tipos de articulação móvel.



Articulações representadas como peças; os movimentos estão indicados com setas vermelhas.

Na segunda parte da atividade, os alunos devem relacionar o funcionamento de algumas articulações com os tipos de alavancas.

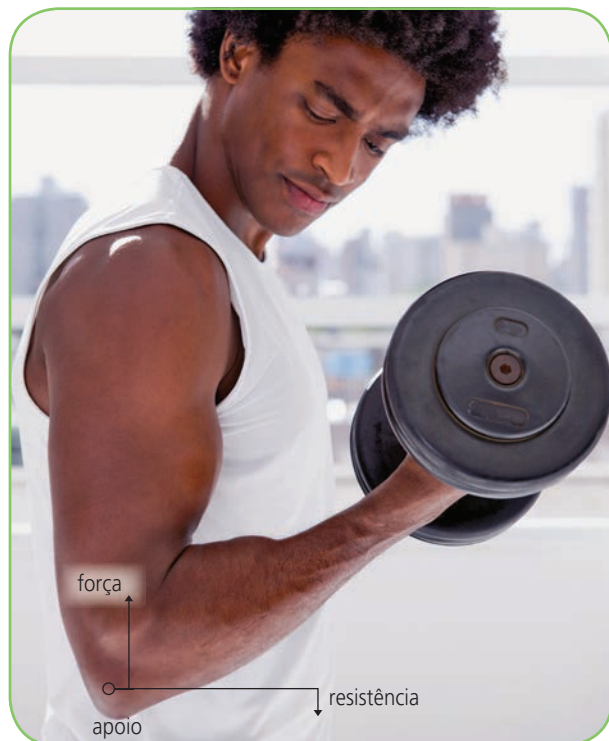
A alavanca é uma máquina simples, em que há uma força de ação, uma força de resistência e um ponto de apoio.

Na alavanca interfixa, o apoio situa-se entre a força e a resistência. Um exemplo típico é a tesoura. No esqueleto humano, a articulação do cotovelo funciona como o apoio de uma alavanca quando o tríceps braquial se contrai ao tentarmos, por exemplo, puxar uma corda para baixo. A articulação semimóvel do pescoço também atua como ponto de apoio de uma alavanca interfixa ao movimentarmos a cabeça para a frente e para trás. Esse tipo de alavanca é o mais adequado para transmitir velocidade e pouca força.

Na alavanca interpotente, a força de ação é aplicada entre o ponto de apoio e a resistência. Um exemplo típico é a pinça. No corpo humano, é o caso do bíceps braquial contraído quando tentamos erguer um objeto: a força vem da contração do bíceps, e a resistência vem do peso do objeto. Esse tipo de alavanca permite movimentos rápidos e amplos, mas que exigem força.

Na alavanca inter-resistente, a resistência situa-se entre o ponto de apoio e a força. O carrinho de mão (carriola) e o quebra-nozes são exemplos desse tipo de alavanca. No esqueleto humano, o movimento de suspender o corpo na ponta dos pés é possível graças a esse tipo de alavanca. O ponto de apoio, nesse caso, são os ossos metatarsais e as falanges dos pés; a força de ação é dada pela contração dos músculos posteriores das pernas, e a força de resistência deve-se ao peso do próprio corpo.

Getty Images



Alavanca interpotente.

Graham Atkins-Hughes/Getty Images



Alavanca inter-resistente.



Alavanca interfixa.

## Temas abordados: comentários e aprofundamentos

### Página 11

#### Nomenclatura anatômica atualizada

Professor(a), ao longo das discussões suscitadas por este capítulo, lembre-se de seguir a nomenclatura atual:

- os canais *central* e *perfurante* do osso foram adotados no lugar de *canal de Havers* e *Volkman*, respectivamente;
- os ossos *escápula*, *ulna*, *patela* e *fíbula* foram adotados no lugar de *omoplata*, *cúbito*, *rótula* e *perônio*, respectivamente;
- o *calcanhar calcâneo* foi adotado no lugar de *calcanhar de Aquiles*;
- o *tecido muscular não estriado* foi adotado no lugar de *tecido muscular liso*.

### Página 16



## REÚNA-SE COM OS COLEGAS

#### Datação de fósseis

As idades dos fósseis são estimadas pela datação radioativa, método que se baseia nas propriedades de elementos químicos radioativos, como o urânio.

Átomos instáveis de um elemento químico podem passar por um processo em que sofrem decaimento de número de nêutrons espontaneamente, originando átomos que passam a ser de outro elemento químico. O tempo necessário para que metade da quantidade de átomos de um elemento se transforme em outro chama-se *meia-vida*. Nesse processo, há um aumento de sua estabilidade química.



Com base no conceito de meia-vida, e utilizando aparelhos para quantificar a massa dos átomos, é possível estimar a idade de uma amostra de fóssil.

Os ossos de dinossauros têm centenas de milhões de anos de idade. Logo, são necessários isótopos com meia-vida relativamente longa, caso do urânio-238, urânio-235 e potássio-40.

Esses elementos não estão presentes nos fósseis de dinossauros, mas em rochas ígneas, que ocorrem próximas a rochas sedimentares, nas quais se encontram fósseis de dinossauros. Os pesquisadores usam, então, datação radioativa para calcular a idade de rochas ígneas, chegando, assim, às idades estimadas desses fósseis.

A datação por carbono-14 não é utilizada para ossos de dinossauros. O carbono-14 tem meia-vida de apenas 5730 anos.

Em relação às diferenças entre ossos enterados e ossos que fazem parte do corpo de animais vivos, temos: os primeiros são constituídos das partes minerais, que resistem à atividade decompositora; já os ossos de um vertebrado vivo são estruturas vivas, que possuem células metabolicamente ativas e sangue circulando em vasos sanguíneos.

Fonte:

TEIXEIRA, W. et al. (Org.) *Decifrando a Terra*. 2. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009, p. 296-305.

## Página 22

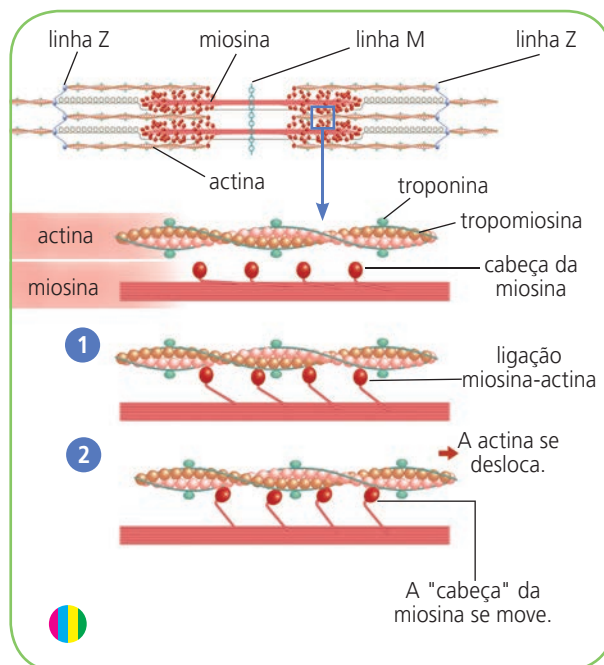
### Contração muscular

A contração do músculo estriado esquelético se relaciona à contração do conjunto de fibras musculares que, por sua vez, contraem-se como resultado do encurtamento dos sarcômeros. Vamos ver, então, como funciona um sarcômero.

Os filamentos proteicos que compõem o sarcômero não sofrem mudanças em seu comprimento. Ele pode encurtar ou retornar ao comprimento inicial pelo deslizamento de filamentos finos (actina) sobre os filamentos grossos (miosina).

A molécula de miosina possui uma região alongada chamada cauda e uma região globular, a "cabeça". As caudas das moléculas de miosina estão arranjadas formando filamentos que partem da região central do sarcômero, a linha M, em direção às extremidades.

As moléculas de actina estão fixas nas extremidades do sarcômero, nas linhas Z, conforme indicado na ilustração a seguir.



Esquema ilustrando a disposição dos filamentos finos (actina) e grossos (miosina) em um sarcômero, e detalhe da estrutura molecular desses filamentos.

A "cabeça" da miosina possui um sítio de ligação com a molécula de ATP e, quando isso acontece, forma-se ADP e fosfato inorgânico. A miosina sofre uma mudança de conformação que permite sua ligação à molécula de actina. Em um movimento molecular, a "cabeça" da miosina puxa a actina em direção ao centro do sarcômero. A ligação com a actina é rompida quando uma nova molécula de ATP chega à "cabeça" da miosina.

O processo se repete diversas vezes, sendo possível para uma "cabeça" de miosina formar 5 ligações com actina por segundo. Devido ao arranjo dos filamentos no sarcômero, as moléculas de actina vão sendo puxadas em direção ao centro do sarcômero, que sofre um encurtamento. Ao atingir o máximo de contração, os filamentos finos se sobrepõem na região da linha M.

O deslizamento das fibras é regulado pela presença de íons cálcio e por proteínas como a tropomiosina e a troponina, localizadas nos filamentos finos. O cálcio, ao se ligar em um sítio específico da troponina, causa uma mudança de posição da tropomiosina que resulta na exposição do sítio, na actina, específico para a "cabeça" de miosina.

Fontes:

CAMPBELL, N.; REECE, J. *Campbell Biology*. 9. ed. Nova York: The Benjamin/Cummings Publishing, 2011, p. 1104-1106.

Vídeo (em inglês): *Contraction of skeletal muscle*. Disponível em: <[http://wps.prenhall.com/wps/media/objects/2688/2752944/Web\\_Tutorials/25\\_A01.swf](http://wps.prenhall.com/wps/media/objects/2688/2752944/Web_Tutorials/25_A01.swf)>. Acesso em: 23 abr. 2016.

## Páginas 25 a 27

### LEITURA

#### 1) A descoberta dos raios X

a) A resposta é pessoal. Os alunos poderão refletir sobre as consequências da descoberta dos raios X para o desenvolvimento científico, médico e tecnológico, considerando as novas tecnologias que passaram a empregar os conhecimentos sobre radiação. A História da Ciência permite refazer os caminhos que levaram a humanidade ao atual estágio de conhecimento científico e de desenvolvimento tecnológico. Permite também analisar a influência do contexto histórico e social de uma descoberta, assim como as influências que uma descoberta científica pode ter no meio social, em uma determinada época. Um exemplo interessante, mostrado na leitura, é o uso de fluoroscópios em sapataria, como forma de atrair clientes. Com o conhecimento de que a exposição aos raios X é maléfica para a saúde, essa estratégia deixou de ser usada pelos comerciantes.

b) Os raios X fazem parte do espectro eletromagnético e são ionizantes, podendo provocar reações químicas nas células que resultam em alterações no DNA. Certas mutações gênicas estão relacionadas ao desenvolvimento de câncer, entre outros problemas. Os efeitos da radiação dependem do tempo de exposição e da quantidade de radiação recebida.

Existem técnicos especializados em radiologia para manipular os equipamentos de raios X em clínicas, laboratórios e hospitais. Os exames são feitos em salas isoladas, ou seja, que impedem a disseminação dos raios X para outros locais.

Esta pode ser uma oportunidade para relembrar o acidente com Césio-137 em Goiânia, em 1987. Esse material radioativo causou a morte de pessoas e a contaminação de muitas outras que tiveram contato com o pó contido em uma cápsula usada em equipamento para radiografias. A cápsula foi indevidamente descartada em lixo, encontrada por catadores de ferro-velho e, assim, ocorreu o grave acidente. O descarte correto e seguro de máquinas de raios X é fundamental para evitar desastres ambientais e com seres humanos.

#### 2) Coluna vertebral: cuidados com a postura

b) Segue uma lista de mais cuidados posturais, além dos citados na leitura.

- Regular as alças da mochila para que fique encostada nas costas.
- Sentar-se com a coluna ereta, apoiada no encosto da cadeira ou sofá, e com os pés no chão ou sobre um apoio, de modo que o joelho fique dobrado em ângulo reto.

- Fazer alongamentos, principalmente ao acordar, antes e depois de atividades físicas.
- Usar um travesseiro que mantenha a curvatura normal da coluna na região cervical.
- Ao utilizar o computador, além de sentar-se corretamente, manter a tela na altura dos olhos e manter os cotovelos apoiados ao digitar.
- Não apoiar o telefone entre a cabeça e o ombro, usando a mão para manter o aparelho junto à orelha.
- Manter a coluna ereta, sem forçar curvaturas, ao realizar atividades do dia a dia, como varrer, erguer objetos, carregar um bebê etc.

### Respostas às atividades

#### Revendo e aplicando conceitos

1.a) Pela posição da garota, é possível ver suas pernas flexionadas, o que é possível pela existência da articulação móvel do joelho. A coluna se inclina levemente, o que é explicado pelo fato de ser formada por pequenas vértebras unidas por articulações semimóveis. Os músculos estriados esqueléticos estão inseridos em um osso e ligados a outro. Ao se contraírem, puxam o osso ao qual estão ligados e o deslocamento ocorre porque existem as articulações.

2. Sustentação: é função do esqueleto axial; nos ossos, está associada à matriz mineral e às fibras de colágeno.

Proteção: caixas torácica e craniana, que protegem, respectivamente, pulmões e coração, e encéfalo.

Locomoção: os ossos da coxa e da perna.

Armazenamento de cálcio: matriz mineral dos ossos.

Produção dos elementos figurados do sangue: medula óssea vermelha dos ossos longos.

Armazenamento de lipídios: medula óssea amarela.

4. Os carboidratos são fontes de glicose, consumida na respiração celular. Para a respiração aeróbia, também é necessário o gás oxigênio, que chega ao organismo pelos pulmões, sendo transportado às células pelo sangue. Assim, quanto maior a resistência física, melhores serão as condições de transporte de  $O_2$  aos músculos durante o exercício. A energia obtida pela respiração celular e os sais minerais, como o cálcio, são essenciais para a contração dos sarcômeros.

6. A Fisioterapia é a área da saúde que se ocupa da prevenção e do tratamento de problemas de saúde relacionados à postura, por meio de movimentos físicos orientados. Os fisioterapeutas podem atuar em casos como desvios da coluna vertebral, que podem agravar-se com o tempo, trazendo também outros prejuízos à saúde, como dores de cabeça e em outras partes do corpo. É também fundamental na

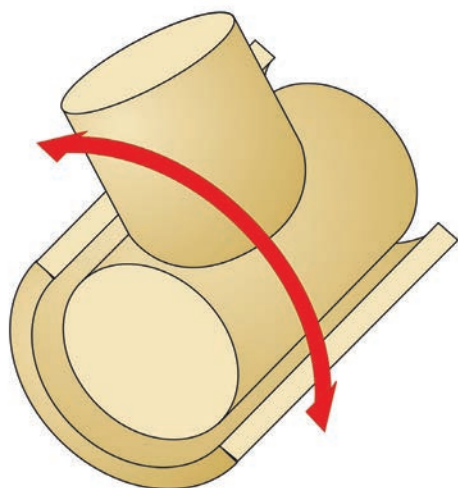
recuperação de lesões ósseas e musculares, no aumento da capacidade respiratória em pessoas com enfisema pulmonar, no controle da bexiga urinária para prevenir casos de incontinência, no treinamento de atletas e de pessoas com limitações motoras. Além disso, a Fisioterapia é uma área de pesquisa científica.

Saiba mais:

FIOCRUZ JOVEM. Fisioterapia. 28 maio 2003. Disponível em: <<http://www.fiojovem.fiocruz.br/content/fisioterapia>>. Acesso em: 05 abr. 2016.

**7. b)** A articulação entre duas falanges é do tipo móvel, como representado pela figura a seguir:

Peter Gardiner/SP/Latinstock



Esquema representando o tipo de articulação móvel que ocorre entre as falanges dos dedos das mãos.

### Trabalhando com gráficos

**10. d)** Os impulsos eletroquímicos são gerados em neurônios localizados na **parte central do sistema nervoso**, da qual partem os **nervos motores**. A junção neuromuscular é a região em que ocorre a **sinapse** entre o axônio de um nervo motor e uma **fibra muscular**, com a liberação de **neurotransmissores** pelo nervo. Esses neurotransmissores são reconhecidos pela membrana da célula muscular, que reage produzindo uma resposta, a contração muscular.

**11. c)** O Plano Nacional de Redução de Acidentes no Trânsito é consequência de uma resolução da Assembleia Geral das Nações Unidas, de 02 de março de 2010, que definiu o período de 2011 a 2020 como a *Década de Ações para a Segurança Viária*. Dados da Organização Mundial de Saúde (OMS) mostraram que, apenas no ano de 2009, ocorreram cerca de 1,3 milhão de mortes no trânsito em 178 países. O Brasil ocupou, naquele ano, o quinto lugar entre os países recordistas nessas mortes.

O plano nacional está sendo elaborado em conjunto por diversos ministérios e outras instâncias. O delineamento do plano foi lançado no ano de 2011 por meio do Pacto Nacional pela Redução de Acidentes no Trânsito – Um Pacto pela Vida.

Na versão preliminar do plano, estão previstas ações de fiscalização, educação, promoção da saúde, infraestrutura e segurança veicular. Entre as medidas educativas, está previsto implementar a educação no trânsito em escolas de Ensino Fundamental e debates sobre o tema trânsito no Ensino Médio.

O consumo de álcool é um dos principais fatores de risco para acidentes no trânsito. Segundo dados da OMS, no ano de 2012, cerca de 18% das mortes de homens em acidentes de trânsito foram relacionados ao consumo de álcool; essa proporção foi de 5% das mortes de mulheres (CISA, 2016). Os prejuízos do álcool para o organismo serão abordados no capítulo a seguir, que trata do sistema nervoso.



Imagem da campanha promovida por ocasião do lançamento do Pacto Nacional pela Redução de Acidentes no trânsito.

Saiba mais:

Centro de Informações sobre Saúde e Álcool – CISA. Disponível em: <<http://www.cisa.org.br/artigo/4692/alcool-transito.php>>.

Departamento Nacional de Trânsito – Denatran. Disponível em: <[http://www.denatran.gov.br/decada\\_transito.htm](http://www.denatran.gov.br/decada_transito.htm)>.

Acessos em: 21 abr. 2016.

### Ciência, Tecnologia e Sociedade

**12. a)** O conceito de acessibilidade é bastante amplo, envolvendo o direito ao acesso a um ônibus, ao deslocamento em ruas e calçadas, e até aos sistemas de comunicação; está relacionado ao atendimento às pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida. De acordo com o artigo 8º do Decreto nº 5.296, de 2 de dezembro de 2004, define-se acessibilidade:

Art. 8º Para os fins de acessibilidade, considera-se:

I - acessibilidade: condição para utilização, com segurança e autonomia, total ou assistida, dos espaços, mobiliários e equipamentos urbanos, das edificações, dos serviços de transporte e dos dispositivos, sistemas e meios de comunicação e informação, por pessoa portadora de deficiência ou com mobilidade reduzida. [...]



Esse artigo também define o que são as barreiras à acessibilidade:

[...]

II - barreiras: qualquer entrave ou obstáculo que limite ou impeça o acesso, a liberdade de movimento, a circulação com segurança e a possibilidade de as pessoas se comunicarem ou terem acesso à informação, classificadas em:

a) barreiras urbanísticas: as existentes nas vias públicas e nos espaços de uso público;

b) barreiras nas edificações: as existentes no entorno e interior das edificações de uso público e coletivo e no entorno e nas áreas internas de uso comum nas edificações de uso privado multifamiliar;

c) barreiras nos transportes: as existentes nos serviços de transportes; e

d) barreiras nas comunicações e informações: qualquer entrave ou obstáculo que dificulte ou impossibilite a expressão ou o recebimento de mensagens por intermédio dos dispositivos, meios ou sistemas de comunicação, sejam ou não de massa, bem como aqueles que dificultem ou impossibilitem o acesso à informação; [...]

O artigo 5º do decreto define o atendimento prioritário às pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida:

Art. 5º [...].

§ 1º Considera-se, para os efeitos deste Decreto:

I - pessoa portadora de deficiência, além daquelas previstas na Lei nº 10.690, de 16 de junho de 2003, a que possui limitação ou incapacidade para o desempenho de atividade e se enquadra nas seguintes categorias:

a) deficiência física: alteração completa ou parcial de um ou mais segmentos do corpo humano, acarretando o comprometimento da função física, apresentando-se sob a forma de paraplegia, paraparesia, monoplegia, monoparesia, tetraplegia, tetraparesia, triplicia, triparresia, hemiplegia, hemiparesia, ostomia, amputação ou ausência de membro, paralisia cerebral, nanismo, membros com deformidade congênita ou adquirida, exceto as deformidades estéticas e as que não produzam dificuldades para o desempenho de funções;

b) deficiência auditiva: perda bilateral, parcial ou total, de quarenta e um decibéis (dB) ou mais, aferida por audiograma nas frequências de 500 Hz, 1.000 Hz, 2.000 Hz e 3.000 Hz;

c) deficiência visual: cegueira, na qual a acuidade visual é igual ou menor que 0,05 no melhor olho, com a melhor correção óptica; a baixa visão, que significa acuidade visual entre 0,3 e 0,05 no melhor olho, com a melhor correção óptica; os casos nos quais a somatória da medida do campo visual em ambos os olhos for igual ou menor que 60º; ou a ocorrência simultânea de quaisquer das condições anteriores;

d) deficiência mental: funcionamento intelectual significativamente inferior à média, com manifestação antes dos dezoito anos e limitações associadas a duas ou mais áreas de habilidades adaptativas, tais como:

1. comunicação;
2. cuidado pessoal;
3. habilidades sociais;
4. utilização dos recursos da comunidade;
5. saúde e segurança;
6. habilidades acadêmicas;
7. lazer; e
8. trabalho;

e) deficiência múltipla - associação de duas ou mais deficiências; e

II - pessoa com mobilidade reduzida, aquela que, não se enquadrando no conceito de pessoa portadora de deficiência, tenha, por qualquer motivo, dificuldade de movimentar-se, permanente ou temporariamente, gerando redução efetiva da mobilidade, flexibilidade, coordenação motora e percepção.

§ 2º O disposto no *caput* aplica-se, ainda, às pessoas com idade igual ou superior a sessenta anos, gestantes, lactantes e pessoas com criança de colo.

Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2004/decreto/d5296.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d5296.htm)>. Acesso em: 02 maio 2016

Professor(a), sugerimos um trabalho interdisciplinar com os professores de todas as disciplinas. É importante que a unidade escolar como um todo coloque em discussão a acessibilidade, tema de extrema importância para o desenvolvimento de sociedades mais democráticas e justas.

### Questões do Enem e de vestibulares

**14.** As células musculares são ricas em mitocôndrias. Utilizam energia contida nas moléculas de glicose, realizando o processo de respiração celular aeróbia, no qual há consumo de  $O_2$  e liberação de  $CO_2$ . O músculo converte a energia química da glicose em energia mecânica e térmica.

**15.** Após o período de treinamento, observou-se que a quantidade média de capilares sanguíneos por fibra muscular aumentou, o que significa que a chegada de gás oxigênio, transportado pelo sangue, tornou-se mais eficiente. Observou-se também que a quantidade de glicogênio por fibra muscular aumentou; o glicogênio é formado por longas cadeias de glicose, e a presença de mais glicogênio na célula muscular indica que a disponibilidade de glicose no músculo é maior. Com glicose e gás oxigênio, a célula realiza respiração aeróbia. Assim, o aumento na disponibilidade desses fatores está relacionado à melhoria do condicionamento físico.

## Capítulo 2

### Coordenação nervosa e sentidos

#### Comentários gerais

A coordenação das funções do corpo humano é realizada pelos sistemas nervoso e endócrino. O sistema endócrino, tema do capítulo 6, atua sob comando direto ou indireto do sistema nervoso. A parte central do sistema nervoso está protegida por estruturas esqueléticas (crânio e vértebras), que foram estudadas no capítulo anterior.

A ênfase deste capítulo está inicialmente nas funções dos órgãos do sistema nervoso; na segunda parte, nos sentidos.

Apesar de a ênfase não ser a simples memorização das estruturas, é necessário comentar aqui que os nomes estão atualizados de acordo com a *Nomina anatomica* humana, utilizando-se como base a obra *Tratado de anatomia aplicada*, volumes 1 (1998) e 2 (1999), de L. J. A. Di Dio. Os nomes oficiais derivam do latim e são diferentes daqueles tradicionalmente utilizados – por isso, em muitos casos o nome antigo é apresentado ao leitor, entre parênteses. Os tradicionais termos “sistema nervoso central” e “sistema nervoso autônomo”, por exemplo, são agora apresentados como parte central do sistema nervoso e parte autônoma do sistema nervoso. O termo “ouvido”, apesar de ser muito utilizado no cotidiano, é substituído por orelha, e o que chamamos popularmente de “orelha” corresponde ao pavilhão auricular. Em uma conversa informal, utilizar “ouvido” e “orelha”, com seus significados tradicionais, não está incorreto, porém o aluno deve saber que na Ciência existe uma padronização da nomenclatura e um esforço no sentido de utilizar termos precisos. Outro aspecto da atualização na nomenclatura é o fato de não mais se utilizar nomes de pessoas em estruturas celulares ou anatômicas; a “trompa de Eustáquio”, por exemplo, é atualmente designada tuba auditiva, e o “órgão de Corti” é designado órgão espiral.

#### Sugestões de atividades complementares

#### Página 34

##### Debate: O trauma e a política de redução de danos

Como neste capítulo os alunos estudam o sistema nervoso humano, é importante comentar um grave problema de saúde pública no Brasil e no mundo: o trauma. Relacione o tema às lesões que afetam a coluna vertebral ou o crânio, prejudicando a parte central do sistema nervoso e podendo levar à morte ou a sequelas incapacitantes. O aluno deve saber que, em muitos casos, essas lesões graves podem ser evitadas.

Sugerimos, como parte inicial da atividade, a busca de informações para saber o que é trauma. Os alunos podem buscar dados atuais sobre traumas decorrentes de acidentes de trânsito, por exemplo, na região onde moram.

A segunda parte da atividade pode ser um debate no qual os alunos devem sugerir propostas para uma política de redução de danos relacionados ao trauma, simulando uma discussão entre vereadores de sua cidade. Ao final, pode ser produzido um texto com as ideias levantadas pela turma.

Como subsídio sobre o tema, leia o texto a seguir.

Trauma, ou traumatismo, refere-se a qualquer problema ou lesão de tecido, órgão ou parte do corpo causado por agente externo. Muitos usam a palavra “acidente” para se referir aos eventos traumáticos. Acidente, contudo, segundo os dicionários de Língua Portuguesa, é um acontecimento casual, inesperado e não é isso que ocorre na maior parte das situações de trauma. O trauma é “um acidente à procura de uma oportunidade para acontecer”, conforme expressão usada por especialistas da área, o que indica que, muitas vezes, o trauma é previsível, e não “acidental”, e por isso pode e deve ser evitado.

O trauma afeta todas as faixas etárias, mas incide particularmente na população jovem. É a segunda ou terceira causa de morte na população em geral, mas na população jovem é a principal causa de morte.

No Brasil, o trauma é responsável por cerca de 120 000 mortes por ano. Estima-se que, para cada pessoa que morre por trauma, três outras fiquem com sequela permanente. Uma pesquisa da Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura (Unesco), realizada em 2001, em 60 países, apontou o trânsito como a causa mais frequente das mortes por trauma. Os médicos acreditam que 60% dos casos estão associados com a ingestão de álcool antes ou ao dirigir.

A prevenção do trauma é possível e envolve o setor de educação, engenharia (no planejamento das vias para veículos e para pedestres) e rigor na aplicação das leis, como a que proíbe o ato de dirigir com álcool no organismo.

A prevenção pode ser primária, secundária e terciária. A prevenção primária constitui-se de medidas que podem ser tomadas para impedir que o trauma ocorra, e que dependem do comportamento de cada pessoa: respeitar as leis de trânsito, não dirigir após ingestão de bebidas alcoólicas ou de medicações que causem sono, não dirigir cansado, colocar rede ou grade nas janelas, proteger as piscinas, não deixar crianças pequenas sem vigilância, entre outras.

A prevenção secundária refere-se a medidas que podem ser tomadas para que, se ocorrer, o trauma seja menos grave. Exemplos: uso de cinto de segurança, *air bag*, capacete para ciclistas e motociclistas, transporte de crianças apenas no banco de trás, piso apropriado em parques infantis, entre outras medidas.

A prevenção terciária consiste na redução das consequências do trauma. É o que se procura fazer com o resgate e pronto-atendimento dos feridos, o tratamento e a reabilitação.

O ideal é que prevenções primária e secundária funcionem de modo eficiente, reduzindo a ocorrência de traumas graves.

FERREIRA NOVO, F. C. Trauma: você pode evitar... Fundação Carlos Chagas. Ideias em trânsito. São Paulo: Fundação Carlos Chagas, 2007.

## Página 46

### Reflexão sobre os sentidos

Em conjunto com professores de outras disciplinas, pode ser proposta aos alunos uma reflexão a respeito de como as pessoas com deficiência visual, auditiva e/ou de fala percebem o mundo. Esta atividade pode ser complementar à que está sugerida no quadro “Reúna-se com os colegas”, na página 46 do livro.

Em um primeiro momento, sem que os alunos consultem quaisquer informações, coloque-lhes as seguintes questões:

- As pessoas percebem o mundo com quais sentidos?
- Garante-se a acessibilidade a todas as pessoas na sociedade?

Em um segundo momento, deverão ser feitas pesquisas sobre o tema e/ou entrevistas com pessoas que possuam tais deficiências. Os alunos com necessidades especiais podem contribuir com seus conhecimentos e opiniões, se assim desejarem.

Os alunos, com base em suas opiniões iniciais e nas informações obtidas nas pesquisas, deverão expressar suas reflexões sobre:

- os mitos acerca do modo de as pessoas com deficiência visual e/ou auditiva perceberem o mundo e se relacionarem com ele;
- como a escola poderia melhorar as condições de acessibilidade dessas pessoas.

Como orientação para a atividade, os alunos podem escolher temas específicos para analisar a condição da pessoa com deficiência visual e/ou auditiva. Por exemplo: quais estratégias podem tornar as aulas de Biologia mais atraentes para alunos nessas condições?

Aqui também cabe uma discussão a respeito do conceito de inclusão: há o acolhimento da pessoa com necessidades especiais, não sendo ela responsável por se adaptar às exigências da sociedade. Na inclusão há solidariedade e permite-se que cada pessoa se desenvolva plenamente a partir de suas características. Em

relação ao ambiente escolar, diz-se que a inclusão é estar com o outro, observando e auxiliando em suas dificuldades, necessidades e potencialidades. O curta-metragem espanhol “Cordas”, do espanhol Pedro Sólis (2014), mostra na linguagem de desenho animado, com muita sensibilidade, um caso de inclusão em uma escola envolvendo um aluno com paralisia cerebral (disponível na internet com versões legendadas).

Estimule os alunos a apresentarem os resultados de suas reflexões na forma de reportagem, vídeos curtos ou outras produções, como teatro.

## Temas abordados: comentários e aprofundamentos

### Página 32



#### REÚNA-SE COM OS COLEGAS

a) O cérebro do ser humano é maior, em relação ao próprio corpo, quando comparado com o de outros mamíferos. A área total de sua superfície é também maior por possuir córtex mais enrugado, ou com mais circunvoluções.

b) Esta atividade tem como objetivo atualizar o aluno em relação às pesquisas científicas nessa área, como a que é apresentada na seção *Leitura* deste capítulo (página 51). As próteses desenvolvidas por uma equipe coordenada pelo Dr. Miguel Nicolelis são chamadas de exoesqueletos, por envolverem externamente os membros paralisados de uma pessoa. Sensores implantados na área motora do córtex cerebral da pessoa enviam sinais elétricos para um computador, que os transforma em comandos transmitidos ao exoesqueleto, que então se move.

Na Copa do Mundo de 2014, realizada no Brasil, o jovem Juliano Pinto, com 29 anos na época, deu o simbólico chute inicial na cerimônia de abertura. Juliano é paraplégico desde 2006, quando sofreu um acidente de carro. Nicolelis e outras pessoas que estavam auxiliando o jovem no momento do chute relatam que ele, emocionado, gritou: “Eu senti a bola!”. Esse momento, além de emocionante, é uma evidência de outra capacidade do equipamento: ele fornece informações sensoriais ao usuário, o que pode restabelecer conexões nervosas perdidas com a lesão que causou a paralisia.

Segundo Nicolelis, entre 8 voluntários que passaram por treinamento com o exoesqueleto durante um ano, todos adquiriram sensações provenientes dos membros paralisados, além de certos movimentos musculares nesses membros.

Fonte:  
HAMZELOU, J. Paralysed limbs reawoken. *New Scientist*, n. 3017. 18 abr. 2015.



## Página 39

### Receptores do tato

No livro, os receptores do tato foram apresentados de modo simplificado, destacando o fato de existirem diferentes tipos e suas funções. Com essas informações, os alunos poderão relacionar as diversas sensações derivadas do tato com as funções dos receptores e sua localização na pele.

Uma sugestão para abordar o assunto em sala de aula é pedir que os alunos comparem os receptores quanto aos estímulos que detectam, ou seja, a sua função.

Vamos abordar de forma mais aprofundada os receptores do tato.

As terminações nervosas livres estão presentes em toda a extensão da pele, localizadas na camada basal da epiderme, nas glândulas e nos folículos pilosos. Cada terminação nervosa é formada por um axônio ramificado, envolvido por células de Schwann, sendo capaz de detectar, principalmente, estímulos que causam sensação de dor.

Há três tipos de receptores do tato organizados em corpúsculos encapsulados: de Meissner, de Ruffini, de Vater-Pacini e de Krause.

Os corpúsculos de Meissner localizam-se na pele glabra (sem pelos), sendo abundantes nas pontas dos dedos, nos lábios, nas plantas dos pés e em algumas outras regiões. São muito sensíveis ao toque, ao movimento de objetos leves sobre a superfície da pele e detectam leves vibrações. Adaptam-se rapidamente ao estímulo, ou seja, não são capazes de “avisar” a parte central do sistema nervoso sobre estímulos contínuos.

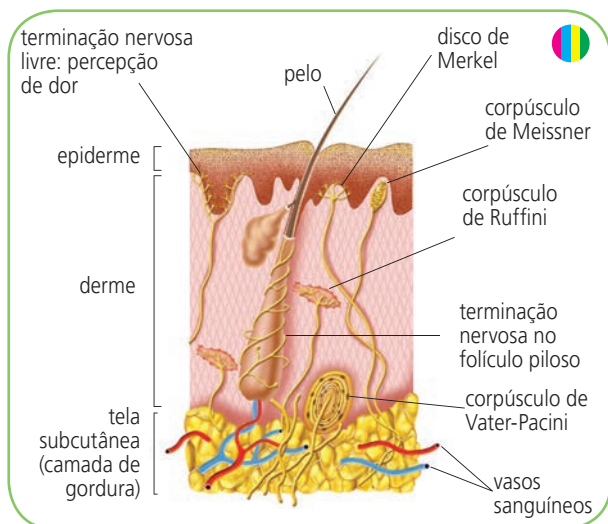
Os corpúsculos de Ruffini estão localizados em camadas mais profundas da pele; reagem a estados contínuos de deformação dos tecidos e a sinais contínuos e mais intensos de pressão. Eles detectam, também, mudanças de temperatura relacionadas à sensação de calor.

Nas camadas mais profundas da pele também estão os corpúsculos de Vater-Pacini, estimulados por mudanças muito rápidas de vibrações ou de pressão sobre ou na pele.

A sensação de frio se deve aos corpúsculos de Krause, receptores térmicos abundantes em regiões na interface entre a pele e as mucosas, como ao redor dos lábios.

Os discos de Merkel são receptores não encapsulados abundantes nas extremidades dos dedos e em algumas outras áreas. O estímulo de toque contínuo contra a pele é detectado, sendo importante na percepção de texturas de superfícies.

Veja na ilustração a seguir, a mesma apresentada no livro, a identificação dos receptores do tato pelos seus nomes. O corpúsculo de Krause não está representado.



Esquema ilustrando um corte histológico da pele humana, destacando os receptores do tato.

Uma curiosidade é a sensação de cócegas, relacionada às terminações nervosas livres. Como as áreas mais sensíveis às cócegas são, geralmente, mais protegidas do toque de uma outra pessoa, o estímulo gerado por esse contato provoca uma resposta do cérebro que faz o corpo se contrair e a pessoa rir.

Fontes:  
JUNQUEIRA, L. C.; CARNEIRO, J. *Histologia básica*. 11. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008, p. 366.

Sentido do tato. Disponível em: <<http://www.projetos.unijui.edu.br/gipec/situacaodeestudo/se%20ser%20humano/sentido%20do%20tato.html>>. Acesso em: 21 abr. 2016.

## Páginas 39 e 40



### ATIVIDADE PRÁTICA

## O tato é capaz de detectar a temperatura da água?

### Interpretando os resultados

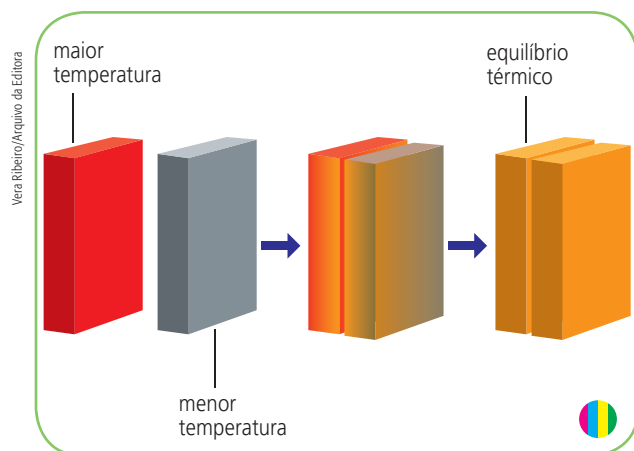
- A resposta pode ser, em um primeiro momento, pessoal. Após a comparação com as respostas elaboradas pelos colegas, registre a explicação correta no quadro.

Os receptores do tato conseguem detectar diferenças de temperatura. Quando a temperatura da água é menor do que a da mão, o corpo perde calor, pela tendência de equilíbrio térmico entre a mão e a água. O inverso ocorre quando a mão é colocada em água morna, ou seja, com temperatura levemente superior à temperatura da mão.

E quanto à sensação térmica percebida quando as mãos são mergulhadas em água à temperatura ambiente? Espera-se que, nesse momento, a sensação seja de aquecimento na mão que estava em água fria, e sensação de frio na que estava em água morna.

A explicação é a mesma: a mão que estava em contato com a água fria recebe calor da água em temperatura ambiente (sensação de aquecimento), e a mão que estava mergulhada em água morna perde calor (sensação de resfriamento). Essa sensação dura alguns segundos.

Veja na figura a seguir uma analogia com dois corpos retangulares, em diferentes temperaturas.



A temperatura de um corpo ou de um meio é dada pela agitação das partículas ali presentes. Quanto maior a agitação, maior a temperatura. A temperatura pode ser estabelecida, por exemplo, por termômetros, que podem informar a medida de temperatura em graus Celsius ou em outra escala. O calor é a energia térmica em trânsito, de um corpo com maior temperatura para um com menor temperatura, tendendo ao equilíbrio térmico.

No corpo de maior temperatura há mais partículas em agitação do que no corpo à direita. No equilíbrio térmico os dois corpos apresentam a mesma quantidade de moléculas em estado de agitação.

Esses conceitos podem ser trabalhados em conjunto com os professores de Física, ou seja, a atividade prática proposta pode se tornar parte de um projeto interdisciplinar envolvendo Física e Biologia.

**Página 42**

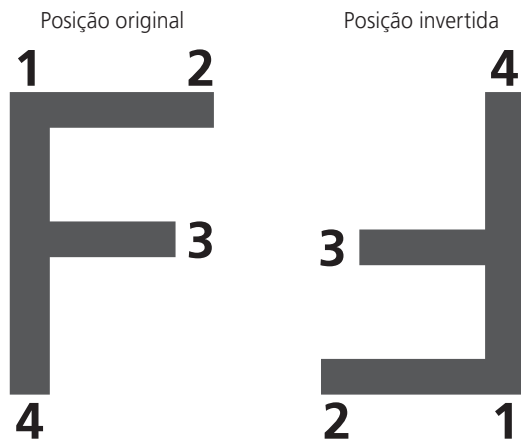


### ATIVIDADE PRÁTICA

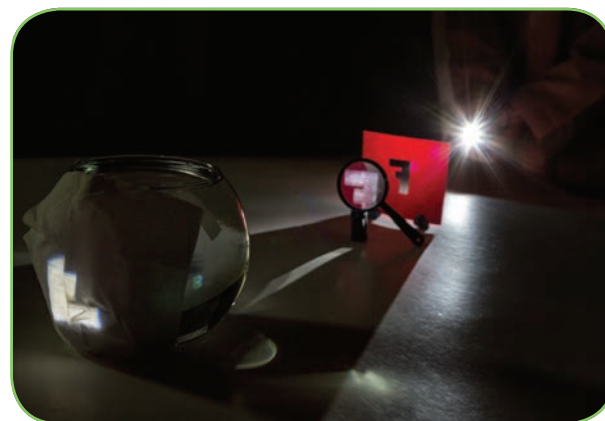
## Um modelo para entender a formação de imagens na retina

### Interpretando os resultados

- a. No modelo mostrado no livro, utilizamos a letra F recortada no cartão. Assim, teremos:



Veja na imagem abaixo o resultado esperado:



Em comparação com o olho humano, o anteparo corresponderia à retina, o recipiente, ao globo ocular preenchido com humor vítreo e a lente de aumento, ao cristalino (lente).

### Indo além

Um dos equipamentos mais antigos relacionados às câmeras fotográficas é a chamada câmara escura, ou obscura, que consiste de uma caixa (ou câmara) fechada com uma pequena abertura ou orifício, por onde passam os raios luminosos. A imagem de uma cena externa se forma na parede da caixa oposta à abertura, de modo invertido. Foram construídas câmaras escuras dos mais variados tamanhos, com uma pequena lente no lugar do orifício e/ou com espelhos que permitiam redirecionar a imagem formada para outro anteparo.

Há registros do século XI descrevendo a câmara escura, conforme mostrado no enunciado de uma questão do Enem-2015 (ver página 53 do livro). Muito tempo depois, no século XVI, há relatos de que Leonardo da Vinci utilizou o equipamento em alguns de seus trabalhos.

Alguns especialistas consideram que a fotografia foi desenvolvida no século XIX, pelo francês Joseph Nicéphore Niépce. Em suas primeiras tentativas, as imagens desapareciam com o tempo.

A primeira fotografia permanente foi obtida utilizando-se uma placa de estanho coberta com um derivado de petróleo fotossensível, um tipo de betume, e vaporizando a placa com iodo. O processo levava horas para ser concluído.

Ao longo do tempo, a tecnologia foi sendo aprimorada e surgiram as câmeras fotográficas.

Quanto ao cinema, a primeira exibição de um filme ocorreu ao final do século XIX, em Paris. Os organizadores desse evento foram os irmãos franceses Auguste e Louis Lumière. O filme consistia da rápida sucessão de fotografias sequenciais, resultando na sensação de movimento.

Uma câmera fotográfica tradicional (analógica) é composta por três elementos básicos: lente, filme e o próprio corpo da câmera. Para produzir uma fotografia é necessário apertar o botão que permite a entrada de luz no equipamento, ficando a imagem daquele instante registrada no anteparo da câmera, o filme. É possível ajustar a distância da lente em relação ao anteparo para focalizar a imagem.

A câmera fotográfica digital registra imagens eletronicamente. Em vez do registro em filme, a imagem é decomposta em informações eletrônicas (*pixels*), armazenadas em *chip*.

Orientar os alunos a montarem uma exposição que, além de mostrar esses eventos, proponha atividades interativas. Poderá ser apresentado a eles um bloquinho de papel com uma sequência de imagens em que cada figura, desenhada em uma folha, difere um pouco da seguinte. Quando as folhas são passadas rapidamente, tem-se o efeito de animação, segundo o princípio de “quadro a quadro”. Os alunos podem desenhar em bloquinhos em branco, a fim de produzirem suas animações. Se a escola contar com *softwares* de animação, os alunos podem produzir animações de curta-metragem.

### Sugestão de atividade complementar

Como complemento ou aprofundamento desta atividade prática, sugerimos a montagem de uma câmara escura, que permite compreender o princípio da fotografia e, por comparação, por que as imagens se formam invertidas no olho humano.

Esta atividade prática tem como proposta uma aula interdisciplinar unindo as áreas de Física e de Biologia. O professor de Física pode utilizar a atividade para explicar os princípios básicos da óptica, de maneira que os alunos possam compreender que o processo de formação da imagem no nosso olho se dá de modo semelhante ao que ocorre em uma câmara escura, fato explicado pelo fenômeno da propagação da luz. A montagem da câmara deverá ser realizada sob sua supervisão.

## Montagem de uma câmara escura

### Material necessário

- Uma caixa qualquer (pode ser de sapato, encomenda etc.);
- uma lupa de mão ou lente de aumento;
- tesoura sem ponta;
- caneta para marcação;
- cola;
- fita adesiva preta;
- papel-cartão preto ou cartolina preta;
- papel vegetal ou papel de seda branco.

### Procedimentos

1. Desmontar cuidadosamente a lupa para que a lente se separe da armação.
2. Envolver a lente em uma tira de papel preto, com aproximadamente 20 cm de comprimento, formando um tubo. A lente deverá ficar em uma das extremidades desse tubo; se necessário, fixá-la com cola.
3. Cortar em uma das faces da caixa um quadrado grande. Essa será a “tela”, ou anteparo, onde se projetará a imagem.
4. No interior da caixa, cobrir esse buraco com o papel vegetal. É importante que o papel fique bem esticado. Sua fixação poderá ser com a fita adesiva.
5. Do lado oposto à tela, fazer um orifício de tal modo que ali se encaixe perfeitamente o tubo confeccionado com a lente. O orifício deverá ser feito no meio da caixa, no lado oposto à tela. Para obter o diâmetro ideal, usar o tubo como molde marcando com a caneta e, em seguida, cortar na marcação. Este será o orifício de entrada da luz.
6. Vedar todas as possíveis entradas de luz no interior da caixa com a fita preta. A única entrada de luz deverá ser pela lente.
7. Realizados todos os procedimentos acima, a câmara estará pronta. Levar os alunos para uma área externa, eles deverão mirar um lugar ou um objeto bem iluminado para que vejam os resultados. O procedimento também pode ser realizado dentro de uma sala escura, apontando a lente para uma vela acesa. Para acertar o foco, os alunos podem mover o tubo onde está a lente para frente ou para trás.

### Resultado esperado

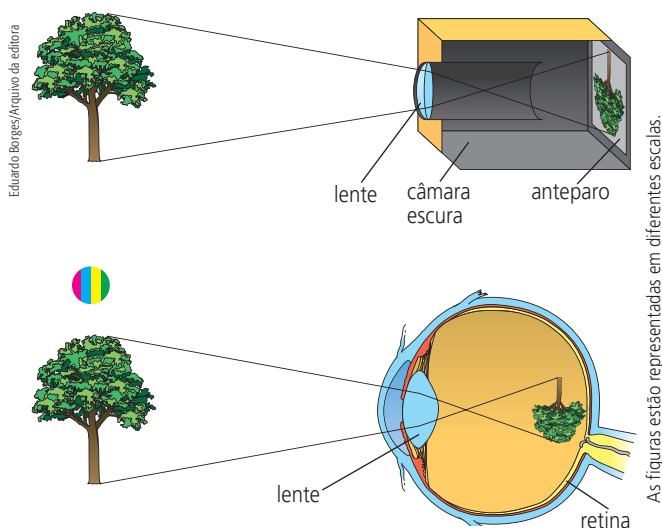
O resultado esperado é a formação de uma imagem invertida na tela da câmara. O objeto iluminado emite luz para todas as direções. A luz, em meio homogêneo e transparente como o ar,



se propaga em linha reta. Ao passar pela lente de aumento, que é bicôncava, os raios luminosos convergem para um ponto, e prosseguem seu trajeto em linha reta. Assim, ao direcionarmos a lente da câmara para um objeto iluminado, os raios que saem da parte inferior do objeto e que passam pelo orifício se projetarão na parte superior da tela, da mesma forma que os raios que saem da parte superior do objeto se projetam na parte inferior da tela, gerando uma imagem invertida.

O mesmo fenômeno acontece em nossos olhos. A luz entra por um orifício (pupila), passa por uma lente (cristalino) e uma imagem invertida se forma no anteparo (retina).

Como avaliação, sugerimos pedir aos alunos que representem em um esquema a câmara escura, indicando como ocorre a projeção da imagem na tela, e um outro esquema representando a formação de imagem no olho. Veja o modelo abaixo.



## Página 46



### REÚNA-SE COM OS COLEGAS

#### Acessibilidade

Esta atividade permite abordar novamente o tema da acessibilidade, cuja compreensão é fundamental para que os alunos analisem as condições sociais do local onde vivem e sejam cidadãos conscientes e participativos na defesa dos direitos de todas as pessoas.

A acessibilidade para pessoas com mobilidade reduzida foi abordada em uma atividade no capítulo anterior. Neste momento, os alunos são convidados a analisar as condições de acessibilidade na escola e seu entorno, tendo como perspectiva as necessidades especiais de pessoas com deficiência visual e/ou auditiva.

Esta atividade, por abordar um tema complexo e interdisciplinar, pode se tornar um projeto pedagógico envolvendo professores de outras disciplinas e a coordenação da escola. No planejamento das atividades, cuide para que todos os alunos participem de modo igualitário, possuindo uma necessidade especial ou não. O documento “Ensaio pedagógico: construindo escolas inclusivas” (BRASIL, 2005) é um bom ponto de partida para você e outros professores estudarem o tema e prepararem atividades adicionais.

Fontes:

DECRETO Nº 5296 DE 2 DE DEZEMBRO DE 2004. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2004/decreto/d5296.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d5296.htm)>.

BRASIL. MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. *Ensaio pedagógico: construindo escolas inclusivas*. 1. ed. Brasília, DF: MEC/SEB, 2005. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seesp/arquivos/pdf/ensaio pedagogicos.pdf>>.

Acessos em: 24 abr. 2016.

## Páginas 48 a 51

### LEITURA

#### 1) O sistema nervoso e as drogas psicoativas

Professor(a), consideramos que um bom trabalho de prevenção ao uso de drogas está embasado nas discussões de causas do uso e formas de evitá-lo, muito mais do que saber detalhadamente os efeitos de cada uma das substâncias no sistema nervoso. Dessa forma, optamos, no livro do aluno, apenas por uma abordagem geral dos vários tipos de drogas, sem entrar em detalhes acerca dos efeitos destas nas sinapses e no organismo.

Seguem informações complementares a respeito dos efeitos das drogas mencionadas na leitura.

- **Álcool** (bebidas alcoólicas): em pequena dose, causa desinibição, euforia, por deprimir vias nervosas de controle comportamental. Doses maiores causam sonolência, sedação, redução dos reflexos, náuseas, vômitos, tremores, suor abundante, tontura, episódios de agressividade, diminuição da concentração. Há maior risco de acidentes. O uso prolongado pode causar cirrose hepática e perda de funções cerebrais.
- **Narcóticos** (heroína, morfina e outros): causam sonolência, alívio da dor. As pupilas ficam contraídas. Pode haver queda da pressão arterial, diminuição da respiração e dos batimentos do coração, podendo levar à morte. A abstinência caracteriza-se por bocejos, coriza e suor abundantes, dores, febre, pupilas dilatadas e pressão alta.

- › **Anfetaminas:** estimulam a atividade mental, inibem o sono, diminuem a sensação de cansaço e de fome, além de causarem taquicardia, pressão alta, ansiedade e agressividade. Com o uso abusivo e/ou prolongado, causam distúrbios psicológicos, como paranoia, alucinações, e aumentam o risco de acidentes vasculares (AVC e infarto), convulsões e coma.
- › **Cocaína:** em um primeiro momento, causa excitação e euforia, estimula a atividade mental, inibe o sono, tira a sensação de cansaço e fome. Surgem também efeitos como taquicardia, febre, pupilas dilatadas, suor excessivo e aumento da pressão sanguínea. Podem ocorrer paranoia e pânico, e a morte por AVC ou infarto, em caso de overdose. Em longo prazo, surgem complicações cardiovasculares e perda de funções cerebrais.
- › **Tabaco** (nicotina): efeito inicialmente estimulante, sensação de prazer, inibição da fome. O uso contínuo causa anemia, problemas cardiovasculares e respiratórios e aumenta a vulnerabilidade ao câncer. Em gestantes, há risco de aborto e de parto prematuro, além de grande probabilidade de o filho nascer com peso abaixo do normal.
- › **Maconha e haxixe:** promovem euforia seguida de relaxamento, fome intensa, olhos avermelhados, pupilas dilatadas, boca seca, taquicardia, perda da noção de tempo e espaço. Aumentam riscos de envolvimento em acidentes e há prejuízo da atenção e da memória para fatos recentes. Há casos de pessoas que têm alucinações, crises de ansiedade ou pânico, paranoia. O uso contínuo gera desânimo, desmotivação.
- › **Alucinógenos** (LSD, mescalina, chá de cogumelos): causam efeitos semelhantes aos da maconha, mas mais intensos, principalmente quanto às alucinações. Podem ocorrer crises de ansiedade, pânico ou delírios, e perda de funções cerebrais.
- › **Ecstasy:** causa sensação de bem-estar, aguçamento dos sentidos, alucinações, aumento da temperatura corporal, taquicardia, desidratação grave, podendo levar à morte. Usuários também podem ter crises de ansiedade e pânico, delírios.

Outras drogas não mencionadas no livro são os solventes (cola de sapateiro, lança-perfume, loló, acetona, gasolina). Inicialmente, podem causar euforia,

sonolência, diminuição da fome, mas também causam alucinações, tosse, coriza, náuseas e vômitos. Em doses maiores, há dores, confusão mental, queda da pressão arterial e pode levar à morte. O uso frequente causa deficiência renal, perda de funções cerebrais, depressão e tentativas de suicídio.

Em anos recentes, ocorreram mortes de jovens brasileiros que usaram o “gás de buzina”, uma mistura de butano e propano existente em buzinas a gás, de venda liberada. Quando inalada, a mistura de gases causa inicialmente euforia e alucinações, mas resulta em queda brusca de oxigenação do sangue, levando a tonturas, desmaios e convulsões.

Fonte: MINISTÉRIO DA JUSTIÇA. Observatório Brasileiro de Informações sobre Drogas – OBID. Disponível em: <<http://obid.senad.gov.br/obid>>.

Acesso em : 11 maio 2016.

### Atividades preventivas ao uso de drogas

Diversas pesquisas relacionadas ao tema enfatizam que as atividades preventivas devem priorizar a reflexão por parte dos alunos de forma a contribuir para que eles construam uma visão crítica das situações que envolvem o uso e abuso de drogas. Além disso, a escola pode desenvolver projetos que estimulem os jovens na busca por seus sonhos e em sua autonomia, reforçando que eles podem sempre fazer escolhas mais saudáveis para si e para todos:

O sonho e o idealismo de crianças e jovens podem ser canalizados, com a ajuda da escola, para a construção de projetos futuros que se convertam em referência em todo o seu itinerário de vida. Para tanto, é importante que o projeto pedagógico da escola, além de sua dimensão cognitiva, tenha sempre em vista o ser das pessoas. Uma nova escola supõe uma nova pedagogia. (ABRAMOVAY; CASTRO, 2005, p. 10)

Esse trabalho preventivo, centrado na ideia de redução de danos e não de combate às drogas, deve envolver toda a equipe escolar e fazer parte do projeto pedagógico da escola. No entanto, dentro de cada disciplina, é possível planejar atividades que reforcem a criatividade dos jovens e o desenvolvimento de seus sonhos e planos, além da capacidade de reflexão e de escolhas conscientes. Não bastam aulas cheias de informações científicas e médicas para fortalecer os alunos em relação ao momento experimentado pela maioria deles: o de dizer não para o uso de uma droga. Analisar criticamente imagens de consumo de cigarro e de bebidas alcoólicas, veiculadas na mídia, e coordenar rodas de conversa entre os jovens são dois exemplos de estratégias pedagógicas que podem ser interessantes nesse sentido.

Segundo material desenvolvido pela Unesco, o trabalho escolar de prevenção às drogas deve se lembrar das dimensões emocional e afetiva:

Têm-se dois eixos de preocupação que se entrelaçam quando se desenvolvem as recomendações seguintes:

Primeiro, no plano de ter o jovem como foco, investir para que este desenvolva sua criatividade crítica e que venha a construir seus próprios mecanismos alternativos às drogas e uma postura reflexiva sobre significados subjetivos e sociais das drogas, em particular, via atividades associativas. Isso visa diminuir os riscos associados ao consumo de drogas. Enfatiza-se, portanto, a construção do conhecimento crítico, a modelagem ética e a escolha informada e reflexiva. É comum nas escolas não se ressaltar a importância do trabalho no plano afetivo e crítico, dando prioridade ao cognitivo, às informações, sem o necessário envolvimento subjetivo dos alunos.

O segundo eixo das recomendações é enfatizar a escola como ponto de referência, sua excelência e o seu clima, ou seja, que as políticas sobre drogas nas escolas pautem-se pelo resgate da sua qualidade e por uma maior democracia, sem tutela e pretensão de controle sobre os jovens. (ABRAMOVAY; CASTRO, 2005, p. 119-12)

Fonte:

ABRAMOVAY, M.; CASTRO, M. G. *Drogas nas escolas*: versão resumida. Brasília: Unesco; Rede Pitágoras, 2005. Disponível em: <<http://unesdoc.unesco.org/images/0013/001393/139387por.pdf>>. Acesso em: 26 abr. 2016.

Professor(a), indicamos a seguir mais algumas referências sobre o tema.

BOUER, J. *Álcool, cigarro e drogas*. São Paulo: Editora Panda Books, 2005.

Centro Brasileiro de Informações sobre Drogas Psicotrópicas – Cebrid. Disponível em: <<http://www.cebrid.epm.br/>>. Acesso em: 28 abr. 2016.

MINISTÉRIO DA JUSTIÇA. Políticas sobre drogas. Disponível em: <<http://justica.gov.br/sua-protecao/politicas-sobre-drogas>>. Acesso em: 28 abr. 2016.

TIBA, I. *Juventude e drogas*: anjos caídos. São Paulo: Integre Editora, 2007.

## 2) Miopia, hipermetropia e astigmatismo

Na miopia, o globo ocular é mais alongado e a imagem dos objetos distantes fica distorcida, pois o foco estaria em uma região anterior à retina. As lentes divergentes, como o próprio nome sugere, provocam uma divergência dos raios de luz provenientes de imagens distantes e o foco é deslocado para a retina.

Na hipermetropia, o globo ocular é mais “achatado” no sentido anterior-posterior e a imagem dos objetos próximos fica distorcida, pois o foco estaria em um ponto posterior à retina. As lentes convergentes, como o próprio nome sugere, provocam a convergência dos raios de luz provenientes de imagens próximas e o foco se forma na retina.

## Respostas às atividades

### Revedo e aplicando conceitos

2. a) Veja um exemplo de tabela a seguir:

	Efeitos das divisões simpática e parassimpática do sistema nervoso em 5 órgãos do corpo	
	Divisão simpática	Divisão parassimpática
Olhos: pupila	Dilatação	Contração
Glândulas salivares	Estímulo à salivação	Inibição da salivação
Coração	Aceleração dos batimentos cardíacos	Redução do ritmo cardíaco
Intestino delgado	Inibição da atividade	Estímulo à atividade
Bexiga urinária	Relaxamento	Contração

4. Problemas relacionados à visão:

#### Presbiopia (“vista cansada”)

- Características da condição: dificuldade em identificar letras pequenas e em focalizar objetos delicados, como para fazer um bordado, por exemplo.
- Causas: endurecimento gradual da lente (cristalino), reduzindo a capacidade de foco. A condição está associada ao envelhecimento – a palavra presbiopia vem de *presbus*, que significa “homem velho”.
- Possíveis tratamentos: uso de óculos ou lentes de contato adequados ao problema.

#### Cegueira noturna

- Características da condição: incapacidade de enxergar em condições sombreadas, de pouca luz.
- Causas: geralmente é a falta de vitamina A na dieta. Essa vitamina é essencial para síntese de um pigmento presente nos bastonetes. Se não houver tratamento, a condição pode evoluir para a cegueira.
- Possíveis tratamentos: no início do quadro, suplementos de vitamina A podem ser receitados pelo médico. Para evitar a doença, deve-se ingerir diariamente alimentos que são boas fontes dessa vitamina, como os vegetais amarelos, a gema do ovo e o fígado bovino.

#### Catarata

- Características da condição: problemas em focalizar imagens e visão de cores opacas, pouco vivas.
- Causas: doença ocular degenerativa, em que a lente (cristalino) vai se tornando progressivamente opaca. Pode estar associada ao envelhecimento ou como resposta a uma lesão no cristalino.
- Possíveis tratamentos: cirurgia corretiva. Pode ser prevenida pelo uso de óculos de sol com proteção contra os raios ultravioleta.



## Cegueira

- Características da condição: perda de nitidez das imagens em um nível que não pode ser corrigido com o uso de lentes.
- Causas: pode ser hereditária, resultado de uma doença infecciosa (congenita ou não) ou consequência de lesões no globo ocular ou no nervo óptico.
- Possíveis tratamentos: depende da causa da cegueira; em muitos casos, porém, não pode ser revertida. Pessoas com diabetes, catarata e glaucoma devem buscar tratamento médico, pois são suscetíveis à cegueira.

Professor(a), auxilie os alunos na escolha de fontes de consulta adequadas, com informações corretas. Seria interessante se a escola pudesse chamar um médico do posto de saúde da região para conversar com os alunos e funcionários a respeito de problemas de visão, para esclarecer dúvidas e mostrar que as pessoas portadoras dessas condições podem ter uma vida plena, desde que recebam atendimento médico.

## Trabalhando com gráficos

**9. b)** O título III descreve as curvas do gráfico, que mostram o que acontece com a concentração de álcool no organismo ao longo do tempo. O teste foi realizado quatro vezes (ver as quatro curvas do gráfico, representadas em cores diferentes), com o mesmo indivíduo. O que variou foi a quantidade de bebida alcoólica consumida em cada teste, resultando quatro curvas diferentes. A curva vermelha corresponde à pequena quantidade de álcool ingerida; as outras curvas resultam do consumo de quantidades de álcool cada vez maiores, ingeridas pelo indivíduo.

**9. c)** No tempo  $t = 0$ , o indivíduo testado consumiu uma determinada quantidade de bebida alcoólica. É possível detectar um padrão nas curvas mostradas no gráfico. Alguns minutos depois da ingestão da bebida alcoólica, a concentração de álcool no sangue aumenta rapidamente e, em menos de uma hora, o teor de álcool no organismo atinge seu máximo. A partir desse instante, a concentração de álcool começa a cair lentamente, levando algumas horas para o álcool ser totalmente metabolizado pelo organismo. No caso de uma dose pequena de bebida alcoólica (curva vermelha), o teor de álcool no sangue está bastante reduzido duas horas após o consumo, mas torna-se nulo somente após quatro horas.

**9. d)** Dirigir alcoolizado é crime. O álcool afeta funções cerebrais e, como consequência, há alterações no comportamento e na capacidade de dirigir com segurança.

A “lei seca” determina que o consumo de qualquer quantidade de bebidas alcoólicas por condutores de veículos está proibido. Antes, era permitida a ingestão de até 6 decigramas de álcool por litro de sangue. Esse valor é o equivalente a dois copos de cerveja, para uma pessoa entre 65 kg e 70 kg – o teor de álcool no sangue, a partir do consumo do mesmo tipo e quantidade de

bebida, pode variar de acordo com o sexo, a idade, o peso e o fato de a pessoa estar em jejum ou alimentada. Como parte da fiscalização do cumprimento da lei, agentes da polícia podem parar motoristas e solicitar-lhes o teste do bafômetro, ou encaminhá-los para exame de sangue. O texto integral da Lei Federal nº 11.705 (“lei seca”) está disponível no site do governo federal.

Saiba mais:

LEI Nº 11.705, DE 19 DE JUNHO DE 2008. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2008/lei/l11705.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2008/lei/l11705.htm)>. Acesso em: 24 abr. 2016.

## Ciência, Tecnologia e Sociedade

**10. b)** Os alunos devem relacionar as medidas de segurança no trabalho com a proteção contra traumatismos. Usar capacete e estar preso a cordas de segurança são medidas importantes para evitar lesões que possam atingir a parte central do sistema nervoso. Pessoas que trabalham em locais de construção e em indústrias, bombeiros, funcionários que fazem limpeza ou reparos externos em edifícios são alguns exemplos de profissionais que devem utilizar equipamentos de segurança e observar os cuidados para se evitarem acidentes. Empresas públicas e particulares devem possuir uma Comissão Interna para Prevenção de Acidentes (CIPA).

## Questões do Enem e de vestibulares

**14. b)** Na orelha externa as ondas sonoras são direcionadas para a orelha média. O início da orelha média é demarcado pelo tímpano, uma fina membrana que vibra ao contato com as ondas sonoras. Essa vibração é amplificada ao ser transmitida aos três ossículos da orelha média. Na orelha interna, as vibrações são transmitidas para o líquido que preenche a cóclea, onde também estão receptores que detectam as vibrações no líquido e enviam impulsos nervosos ao cérebro.

**15. a)** Moléculas existentes no ar, correspondentes a odores, são reconhecidas por receptores do olfato localizados no epitélio nas cavidades nasais. Uma vez estimulados, os receptores enviam impulsos nervosos para o cérebro e lá a “informação” a respeito do odor pode ser integrada com outras informações. Dessa forma, um cheiro pode remeter a uma lembrança, a um alimento, entre outras situações.

## Capítulo 3

### Digestão e nutrição

### Comentários gerais

Como pré-requisito para a compreensão do capítulo, os alunos devem conhecer a composição química das células. Aqui será aprofundado o conceito de enzima digestiva.

Em seguida, são apresentadas a anatomia e a fisiologia do sistema digestório do ser humano, em texto ilustrado com exemplos de situações cotidianas e esquemas. Finalmente, são discutidos aspectos de nutrição e saúde. Esse é um tema fundamental na educação

dos jovens, que são os principais alvos das propagandas de bebidas e alimentos industrializados ricos em açúcares ou gorduras, que não devem ser consumidos em excesso. A obesidade e a má nutrição são problemas de saúde que vêm crescendo em todo o mundo e também no Brasil. No outro extremo, há os casos de desnutrição, que devem ser discutidos; é importante também abordar os transtornos alimentares, cada vez mais comuns entre jovens.

Conforme já comentamos, a nomenclatura está atualizada de acordo com a *Nomina anatomica* humana e, por isso, utilizamos sistema digestório (do latim *systema digestorium*) no lugar do tradicional “sistema digestivo”, ainda muito comum em textos e questões de vestibular. O adjetivo “digestivo” é utilizado corretamente quando se refere à função, como no caso de enzimas digestivas.

## Reflexões sobre o ensino de Biologia

### Página 55

#### O ensino de Biologia promovendo a alimentação saudável

Nas últimas décadas, verificou-se uma brusca mudança de hábitos alimentares no Brasil, atrelada à intensa urbanização e ao fenômeno da globalização. Tornaram-se comuns dietas ricas em gorduras saturadas, açúcar e sal, além do sedentarismo. Esse tipo de alimentação e a vida sedentária são fatores de risco para o desenvolvimento de doenças crônicas não transmissíveis, como a obesidade e o diabetes mellitus tipo 2. Segundo pesquisa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2012 apud CARVALHO; MACHADO, 2014), no Brasil os casos de obesidade nas fases infantil e juvenil aumentaram significativamente nos últimos 20 anos.

Ao mesmo tempo, ainda são preocupantes em nosso país os índices de doenças causadas por nutrição insuficiente, como a hipovitaminose A, a anemia ferropriva, a carência de ácido fólico e a deficiência de iodo. A subnutrição atinge tanto crianças e adolescentes em situação de fome, quanto os obesos. Também preocupam os casos de anorexia nervosa e bulimia entre os jovens.

Diante deste panorama, percebe-se a importância da educação nutricional na escola, que deve disseminar informações de saúde durante os ensinamentos fundamentais e médio (TEIXEIRA et al., 2011).

Além da questão da qualidade nutricional das merendas escolares, a escola deve colocar a educação alimentar em seu projeto pedagógico, de acordo com o Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE). O tema deve estar presente nas diversas disciplinas e atividades escolares. Muitas escolas têm reformulado os cardápios oferecidos nas cantinas com o objetivo de melhorar os hábitos alimentares dos alunos.

Para os professores de Biologia do Ensino Médio, o estudo do sistema digestório do ser humano e da digestão dos alimentos pode servir como ponto de partida para a educação alimentar. Esta é a sequência proposta neste capítulo, que se inicia com uma visão anatômica e funcional dos órgãos envolvidos na digestão dos alimentos. Os alunos vão se familiarizando com os macronutrientes (carboidratos, proteínas e lipídios) e onde são digeridos, para em seguida conhecer melhor os grupos de nutrientes e sua distribuição proporcional em uma alimentação balanceada.

Carvalho e Machado (2014) realizaram uma pesquisa com alunos de Ensino Médio de uma escola pública de Campo Grande (MS) e verificaram que a maioria deles afirmou consumir lanches prontos e industrializados (*fast food*) pelo menos 3 vezes por semana, um índice considerado alto. Além disso, descobriram que poucos alunos consomem diariamente verduras e frutas, e muitos não tomam café de manhã.

Um questionário para verificar os hábitos alimentares dos alunos pode ser um meio de obter dados importantes na elaboração das aulas sobre o tema nutrição. Entre as atividades, sugerimos uma conversa dos alunos com um médico ou um nutricionista, convidado a visitar a escola. A escola tem condições de promover a reflexão e a mudança de hábitos dos alunos em direção a uma vida mais saudável e nós, professores de Biologia, temos boas condições para realizarmos esse trabalho em nossas aulas.

Recomendamos também como material de preparo e consulta o *Guia alimentar para a população brasileira* (BRASIL, 2014).

Fontes:

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. *Guia alimentar para a população brasileira*. 2. ed. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2014. Disponível em: <<http://portalsaude.saude.gov.br/images/pdf/2014/novembro/05/Guia-Alimentar-para-a-pop-brasiliera-Miolo-PDF-Internet.pdf>>.

BRASIL. FUNDO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO. Alimentação Escolar (PNAE) – Ações educativas. Disponível em: <<http://www.fnede.gov.br/programas/alimentacao-escolar/alimentacao-escolar-acoes-educativas>>.

CARVALHO, D. S.; MACHADO, V. M. Hábitos alimentares e nutricionais de jovens do ensino médio em uma escola pública de Campo Grande/MS. *Revista da SBEnBio*, n. 7, out. 2014. Disponível em: <<http://www.sbenbio.org.br/wordpress/wp-content/uploads/2014/11/R0422-1.pdf>>.

TEIXEIRA, T. C.; SIGULEM, D. M.; CORREIA, I. C. Avaliação dos conteúdos relacionados à nutrição contidos nos livros didáticos de biologia do ensino médio. *Revista Paulista de Pediatria*, v. 29, n. 4, 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rpp/v29n4/14.pdf>>.

Acessos em: 24 abr. 2016.

## Sugestões de atividades complementares

### Página 62

#### Montagem de um modelo tridimensional para explicar a úlcera péptica

Nesta atividade, a úlcera localizada na parede estomacal serve de ponto de partida para um estudo

mais aprofundado da anatomia e da fisiologia do estômago. Reunidos em equipes, os alunos devem buscar informações sobre o tema em livros e na internet, selecionando fontes confiáveis. Em seguida, o desafio é montar um modelo tridimensional que mostre o que é a úlcera péptica – de preferência, reutilizando materiais como sucata e papel de rascunho.

Os alunos poderão compreender os diversos tecidos que compõem o estômago, e que o meio ácido determinado pelo suco gástrico elimina a maioria dos micro-organismos que chega ao órgão. Compreenderá também a importância das células do epitélio interno que produzem muco na proteção da parede estomacal contra a acidez do suco gástrico.

Seguindo o mesmo princípio, é possível abordar outras doenças que podem afetar o sistema digestório humano. Assim, cada equipe pode produzir um modelo diferente e o apresentar aos colegas, mostrando detalhes da anatomia e da fisiologia dos órgãos que compõem esse sistema.

Elaboramos o texto a seguir como subsídio ao tema da úlcera péptica.

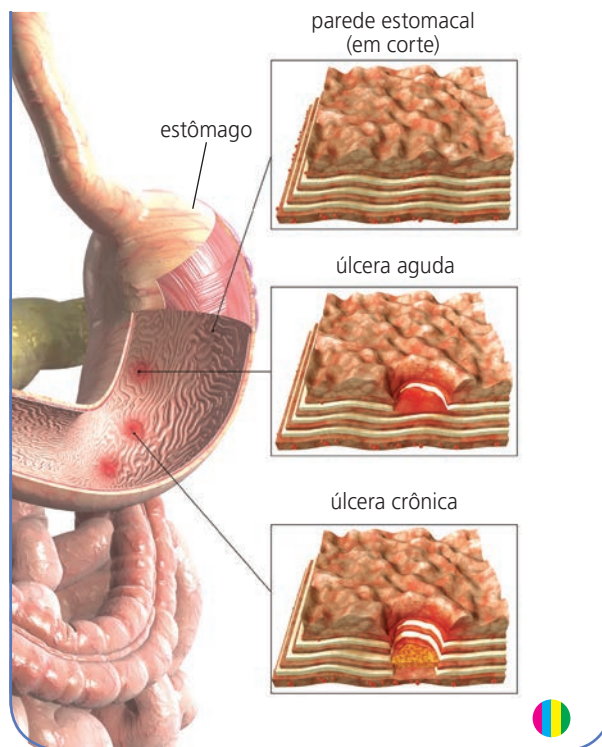
A úlcera péptica caracteriza-se por lesões na mucosa do estômago ou do duodeno por ação do suco gástrico. As lesões ocorrem quando há produção excessiva de ácido e/ou produção deficiente do muco que protege a mucosa estomacal.

A causa mais comum desse desequilíbrio é a presença da bactéria *Helicobacter pylori*, que quebra a barreira protetora de muco e assim favorece a ação do suco gástrico na mucosa estomacal. No entanto, nem todos os indivíduos infectados pela bactéria desenvolvem úlcera – alguns apresentam apenas gastrite, uma inflamação da mucosa.

A forma de contágio pode variar de acordo com as condições de vida da população: em países pobres, é comum a contaminação de água e alimentos e, em países desenvolvidos, a principal forma de contágio é o contato próximo entre familiares e namorados, pela saliva. O estresse não causa úlceras, mas pode acentuar os sintomas.

Independentemente de como se dá o contágio, estima-se que 10% da população humana terá úlcera pelo menos uma vez na vida. O tratamento inclui medicamentos que diminuem a acidez do estômago e antibióticos, caso seja confirmada a presença de *H. pylori*. No entanto, pesquisadores brasileiros já registraram a ocorrência de bactérias resistentes aos antibióticos mais utilizados. Elas podem ter sido selecionadas devido ao uso inadequado de antibióticos pela população; interromper o tratamento prescrito pelo médico, por exemplo, pode favorecer a proliferação das bactérias mais resistentes ao medicamento.

O esquema a seguir mostra a alteração na parede estomacal causada pela úlcera péptica:



## Página 71

### Conservação de alimentos

Existem diversos métodos de conservação de alimentos e todos eles se baseiam em formas de matar micro-organismos ou impedir sua proliferação, retardando assim sua decomposição. Os alimentos podem ser conservados pelo calor (pasteurização e esterilização), pela desidratação, pelo frio (congelamento ou refrigeração), pelos aditivos químicos (como sal de cozinha, vinagre, nitratos, nitritos, sulfitos etc.), por defumação, irradiação, fermentação, entre outros.

Como sugestão de atividade, os alunos, reunidos em duplas ou trios, podem buscar mais informações a respeito de uma das técnicas de conservação de alimentos e elaborar uma apresentação oral aos colegas. Você pode incentivar os grupos, lançando a seguinte pergunta: “Como esse assunto pode se tornar interessante para quem assiste a uma palestra sobre ele?”. Estimule entrevistas com especialistas, visita a locais onde seja aplicada uma técnica de conservação de alimentos, análise de rótulos de alimentos, entre outras estratégias.

Conhecer as técnicas de conservação de alimentos e os cuidados na hora de comprar (como observar sempre a data de validade e o aspecto da embalagem) são fundamentais para evitar intoxicações alimentares e são ações que fazem parte da segurança alimentar. Indicamos a seguir uma boa fonte de consulta.

Saiba mais:  
BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. *Guia alimentar para a população brasileira*. 2. ed. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2014. Disponível em: <<http://portalsaude.saude.gov.br/images/pdf/2014/novembro/05/Guia-Alimentar-para-a-pop-brasiliera-Miolo-PDF-Internet.pdf>>. Acesso em: 02 maio 2016.



## Página 72

### Alimentos orgânicos

Os alunos podem buscar informações a respeito dos alimentos orgânicos e o que caracteriza sua produção. Com o resultado da pesquisa, podem produzir textos na forma de uma reportagem de revista ou de rádio, informando as vantagens no consumo desses alimentos.

A agricultura orgânica é baseada em uma série de princípios que têm como objetivo reduzir os impactos ao meio ambiente, valorizar as plantas e os animais da região, cuidar do solo e de outros recursos naturais com plantios, manutenção e colheitas que não os degradem, e garantir renda para os moradores das comunidades rurais, sem a exploração de seu trabalho. Por isso se diz que a agricultura orgânica é ecológica e socialmente responsável, pois alia o compromisso com a preservação do ambiente à promoção da qualidade de vida das comunidades rurais. Embora popularmente as pessoas identifiquem os produtos orgânicos apenas como aqueles que não possuem agrotóxicos, há muito mais por trás dessa denominação. Para um produto ser considerado orgânico, ele deve conter no máximo 5% de ingredientes não orgânicos. Para assegurar ao consumidor que um produto é orgânico, o governo brasileiro criou um selo que garante que todo o sistema de produção está sendo respeitado.

Existem também no mercado os produtos “com ingredientes orgânicos”; para serem rotulados dessa forma, eles precisam conter pelo menos 70% de ingredientes orgânicos.

Saiba mais:

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) com informações a respeito de produção e consumo de alimentos orgânicos. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/desenvolvimento-sustentavel/organicos>>.

Cartilha *Produtos orgânicos: o olho do consumidor*. Ilustrada por Ziraldo. Disponível em: <[www.redezero.org/cartilha-produtos-organicos.pdf](http://www.redezero.org/cartilha-produtos-organicos.pdf)>.

Acessos em: 24 abr. 2016.

## Temas abordados: comentários e aprofundamentos

### Página 58



### REÚNA-SE COM OS COLEGAS

#### Sistema digestório de mamíferos

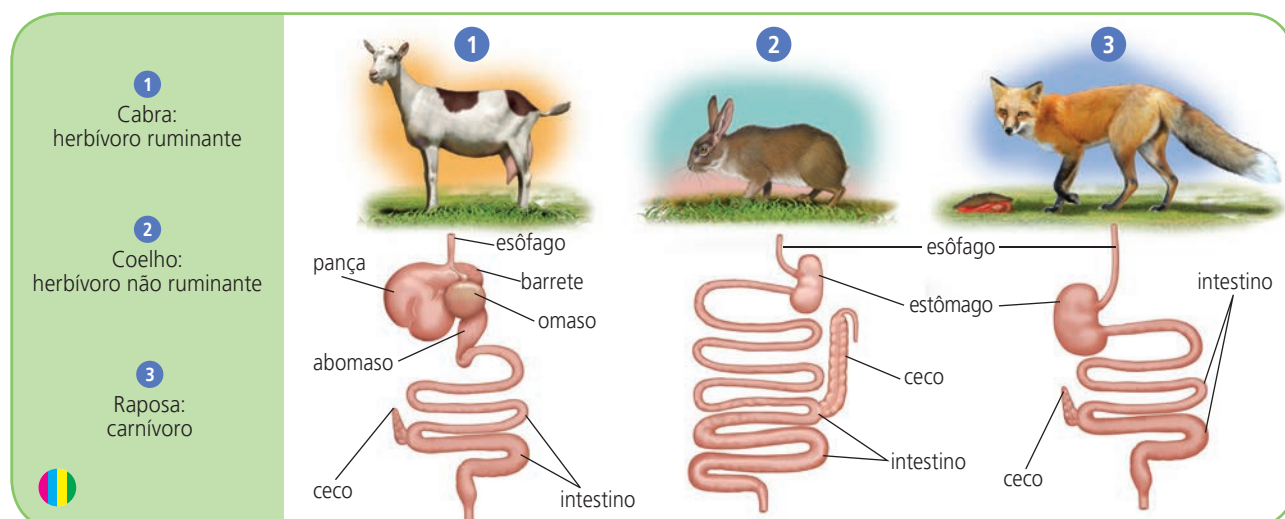
Nesta atividade, os alunos podem escolher qualquer mamífero para fazer a comparação de seu sistema digestório com o do ser humano. Os mamíferos compõem um grupo monofilético, o que significa que compartilham um ancestral comum exclusivo. Os diversos grupos de mamíferos possuem variações em relação à estrutura básica do sistema digestório, correspondendo a adaptações a variados modos de vida.

Vamos ver, de modo resumido, como é o sistema digestório de um ruminante, a cabra, de um herbívoro não ruminante, o coelho, e de um carnívoro, a raposa.

As cabras e os bodes são ruminantes, assim como os bois, as ovelhas, os veados e outros mamíferos herbívoros que ruminam o alimento e possuem o estômago modificado em quatro câmaras: rúmen (ou pança), retículo (ou barrete), omaso e abomaso. Sua dentição também se relaciona ao hábito ruminante: dentes incisivos desenvolvidos, que cortam a vegetação, e dentes molares capazes de triturar o alimento, rico em fibras.

Os coelhos não possuem câmaras no estômago, mas um intestino delgado longo em comparação com o dos ruminantes. O ceco é muito desenvolvido. Em relação à dentição, os incisivos são muito desenvolvidos, mas os molares são menos do que nos ruminantes.

A raposa, um mamífero carnívoro, possui o intestino delgado mais curto e o estômago relativamente maior do que o do coelho. A digestão de proteínas, abundantes na carne, é realizada principalmente no estômago. Na dentição, os caninos são muito desenvolvidos, cortando e rasgando pedaços de carne.



^ Comparação de parte dos sistemas digestórios de um ruminante (cabra), um herbívoro não ruminante (coelho) e um carnívoro (raposa), em ilustrações simplificadas e fora de escala.

## Página 60



## PENSE E RESPONDA

a) Na deglutição, a epiglote fecha a entrada da laringe, fazendo com que o alimento passe para o esôfago e não entre nas vias respiratórias. Quando respiramos ou falamos, a epiglote deixa a passagem da laringe aberta e o ar passa da boca para a faringe, a laringe e a traqueia. Entretanto, a epiglote pode não atuar de modo eficiente se a pessoa estiver engolindo e falando ao mesmo tempo. Partículas de alimento podem passar para a laringe e bloquear a entrada de ar.

b) De modo geral, deve-se ingerir os alimentos calmamente, evitando nesse processo falar e ir.

c) O complexo mecanismo da deglutição é controlado pela medula oblonga (bulbo) e por nervos da parte autônoma do sistema nervoso. Como o álcool afeta o sistema nervoso, o reflexo de engolir pode ficar prejudicado.

## Página 67

## Proteínas – aminoácidos essenciais

São aminoácidos essenciais aqueles não sintetizados pelo organismo. Cada espécie animal possui um conjunto único de aminoácidos essenciais. Para a espécie humana, esse conjunto contém: fenilalanina, valina, triptofano, treonina, lisina, isoleucina, leucina, metionina. Esses aminoácidos são obtidos pela dieta com variadas fontes proteicas.

São aminoácidos não essenciais para o ser humano: alanina, ácido aspártico, ácido glutâmico, arginina, cisteína, histidina, asparagina, glicina, prolina,

serina, glutamina e tirosina. Eles podem ser sintetizados no organismo humano, a partir de moléculas precursoras, mas também devem estar presentes na alimentação, pois a taxa de síntese pode não ser suficiente para suprir as necessidades diárias.

Segundo especialistas, a mistura de arroz e feijão, típica das refeições brasileiras, fornece os aminoácidos essenciais necessários. Outros alimentos que são fontes completas de aminoácidos são carne, frango e peixes.

Vem aumentando em nosso país e no mundo o número de pessoas que optam por formas especiais de alimentação, como a dieta vegetariana (quando não se come carne) e a vegana (sem a ingestão de qualquer alimento de origem animal). Estudos recentes comprovam que, nessas dietas, é possível fazer combinações de vegetais, nas refeições, que garantem a ingestão necessária da maioria dos aminoácidos essenciais, vitaminas e sais minerais. No entanto, é importante ter acompanhamento médico e/ou nutricional para garantir que a ingestão diária de nutrientes (principalmente a vitamina B<sub>12</sub>) seja suficiente.

Fonte:

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. *Guia alimentar para a população brasileira*. 2. ed. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2014. Disponível em: <<http://portalsaude.saude.gov.br/images/pdf/2014/novembro/05/Guia-Alimentar-para-a-pop-brasileira-Miolo-PDF-Internet.pdf>>. Acesso em: 24 abr. 2016.

## Página 68



## PENSE E RESPONDA

Tabela mostrando a função das vitaminas no organismo humano:

Vitamina	Função (ou funções) no organismo
A Retinol	Um derivado do retinol é essencial para a visão ao se ligar a uma proteína chamada opsina, presente nos cones e nos bastonetes. Outro derivado é o ácido retinoico, que atua em diversos tecidos como antioxidante, retardando o envelhecimento celular.
B <sub>1</sub> Tiamina	É importante no metabolismo da glicose nas células, participando do processo de sua conversão em energia.
B <sub>3</sub> Niacina	É importante no metabolismo energético das células, pois é usada na síntese das moléculas conhecidas como NAD <sup>+</sup> . Ela também é necessária na produção de hormônios pelas glândulas adrenais. Uma curiosidade: é também conhecida como vitamina PP, por ser Preventiva da Pelagra.
B <sub>9</sub> Ácido fólico	É fundamental no processo de formação de novas células e, no desenvolvimento embrionário, previne malformações no sistema nervoso. Está associada à redução do risco de doenças cardíacas e certos tipos de câncer.
B <sub>12</sub> Cobalamina	Sua presença no organismo está associada à redução do risco de doenças cardíacas. Atua no metabolismo de ácidos graxos e aminoácidos e participa do processo de formação de novas hemácias.
C Ácido ascórbico	É fundamental na síntese de colágeno, proteína que sustenta as paredes de vasos sanguíneos e outros tecidos. Participa da síntese dos neurotransmissores serotonina e noradrenalina, além de ser importante na manutenção do sistema imunitário.
D Calciferol	Atua na regulação do metabolismo do cálcio e do fósforo no organismo. A presença da vitamina D <sub>3</sub> aumenta a absorção de cálcio pelos ossos.
E Tocoferol	É um agente antioxidante, importante no combate aos radicais livres. Em ratos, comprovou-se seu papel essencial na reprodução e na prevenção da distrofia muscular e, provavelmente, essa vitamina participa de tais processos também em seres humanos.
K Filoquinona	É fundamental no processo de coagulação sanguínea, em diversas etapas, como na modificação da protrombina em trombina. Uma curiosidade é que seu nome vem do dinamarquês <i>koagulation</i> .

Fontes:

CAMPBELL, M. K.; FARRELL, S. O. *Bioquímica* vol. 1: Bioquímica básica (tradução da 5. ed.). São Paulo: Thomson Learning, 2007, p. 215-223.

HARVARD HEALTH PUBLICATIONS. Listing of vitamins. Disponível em: <[http://www.health.harvard.edu/staying-healthy/listing\\_of\\_vitamins](http://www.health.harvard.edu/staying-healthy/listing_of_vitamins)>. Acesso em: 26 abr. 2016.

## Página 70

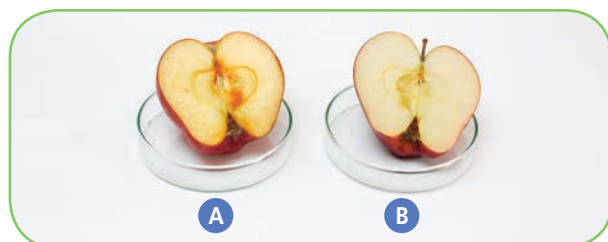


## ATIVIDADE PRÁTICA

Investigando o  
escurecimento da maçã

- a. Verifique na imagem abaixo o resultado observado após 30 minutos da montagem.

Thiago Oliver/Acervo do fotógrafo



## Páginas 74 e 75

## LEITURA

## 2) Contando calorias

a) Os padrões de beleza são diferentes entre sociedades distintas de uma mesma época. Nos dias atuais, essa percepção pode não ser óbvia em um primeiro momento, principalmente se analisarmos os padrões veiculados pelos meios de comunicação em massa que, em um mundo globalizado, transmitem imagens de pessoas brancas, magras e jovens como os exemplos mais comuns de beleza. Esse padrão é proveniente do hemisfério Norte (particularmente dos Estados Unidos e da Europa Ocidental, onde estão os principais centros financeiros do mundo) e é o mais frequentemente usado na publicidade e em outros meios com funções mercadológicas: desfiles e revistas de moda, filmes, programas de televisão etc. Apesar de esse biotipo ser o predominante na mídia, já existem outros padrões de beleza sendo mostrados – no capítulo 9, mostramos o exemplo de um modelo profissional albino. Em muitos países, há organizações atentas à veiculação de imagens como a de modelos excessivamente magros(as), que podem impactar de forma negativa crianças e jovens expostos a essas imagens, percebendo-as como algo a ser seguido ou valorizado em uma pessoa.

Deixando de analisar as imagens veiculadas pela cultura de massa, percebemos que cada etnia ou, muitas vezes, cada sociedade dentro de um grupo étnico possui padrões únicos do que é considerado belo. Um exemplo que pode ser ilustrado em aula é o da comunidade *karen-padaung*, cujas mulheres são conhecidas pelos ocidentais como “mulheres-girafa”. Veja o relato de uma jornalista brasileira que visitou a comunidade, localizada na Ásia:

A etnia *karen*, à qual os *padaungs* pertencem, possui uma tradição cultural muito remota e antiga. O fato de seus membros se protegerem mutuamente constitui a base da sua organização social. Suas tradições, desenvolvidas ao longo de muitos séculos, são cheias de detalhes particulares. Toda a comunidade trabalha para que tais detalhes não sejam esquecidos. Uma primeira característica que chama a atenção de quem os visita é a beleza das mulheres *karens*. [...]

A etnia é, na verdade, uma confederação de várias tribos intimamente relacionadas. Cada uma das suas aldeias possui dialetos próprios, bem como distintos padrões de beleza e de costumes. [...] Alguns passos mais e dou de frente com a cena tão esperada, e que até então só vira em documentários: o grupo das “mulheres-girafa”, ou *karen baan thaton*.

A expressão “mulher-girafa” (*long neck*, em inglês) deriva de um curioso costume das mulheres dessa tribo: elas usam grandes anéis de latão ao redor do pescoço. Isso os faz parecer muito mais compridos do que o normal. Fico atônita diante das emoções que sinto: elas são lindas e vestem-se com trajes muito coloridos, mas os anéis no pescoço me causam estranheza e desconforto. [...] (ZOPELLO, 2011)



Iryna Rasko/Shutterstock

▲ Mulher-girafa da etnia *karen-padaung*, que habita a região Sudeste de Mianmar e Oeste da Tailândia.

Talvez a reação dos alunos, ao verem fotos das mulheres-girafa, seja de um estranhamento inicial, sendo importante neste momento incentivar uma postura de respeito e um convite a se imaginarem como membros daquela comunidade, diante de um padrão de beleza que nós consideramos diferente. O conceito de “diferente” ou “estranho” depende do ponto de vista.

Os padrões de beleza também variaram ao longo do tempo, em cada sociedade. Como exemplo, sugerimos imagens como a de Luís XIV, rei da França em meados do século XVII. Considerado na época um ícone de beleza e virilidade, ele dificilmente estamparia capas de revistas de moda e beleza atualmente, pois o que era considerado belo e imponente naquela época, hoje não é mais visto dessa maneira.





▲ Retrato de Luís XIV (1638-1715).

Esta atividade é importante ao promover reflexões que podem influenciar o modo como os alunos assimilam mensagens diariamente veiculadas pela mídia, questionando padrões e reconhecendo preconceitos. Muitos jovens se sentem agoniados por estarem “fora do padrão”; ao promover tais reflexões, podemos estimular o desenvolvimento da autoestima e da autonomia. Esse aspecto é aprofundado na questão b.

Fonte:

ZOPELLO, V. No reino das mulheres-girafa. *Planeta* n. 460, 01 jan. 2011.

b) Segundo profissionais da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, diversos fatores são apontados como causas de transtornos alimentares: genéticos, biológicos (como alterações nos níveis de certos neurotransmissores no cérebro), socioculturais, familiares e psicológicos.

Tanto na anorexia nervosa quanto na bulimia, fatores psicológicos como a distorção da autoimagem corporal e a baixa autoestima estão envolvidos com o desenvolvimento dos distúrbios. Esses fatores podem estar relacionados às mensagens transmitidas pela mídia, que parecem defender a magreza, por vezes excessiva, como padrão de beleza. O desenvolvimento da autoestima e a capacidade de analisar criticamente as imagens e os padrões de consumo a que estamos expostos é um passo importante para evitar os transtornos alimentares, especialmente em adolescentes, que estão em fase de construção de sua identidade. A escola pode contribuir nesse sentido, promovendo ações que a tornem um ambiente acolhedor para os alunos, fornecendo informações e problematizando questões como os padrões de beleza.

Um tema que pode ser trazido para o debate é o da saúde. Atitudes e hábitos saudáveis não condizem com diversos métodos para alcançar a “beleza”, no

sentido em que a palavra é usada rasteiramente pela mídia. Muitas revistas e sites, por exemplo, veiculam regimes alimentares para “perder a barriga”, mas as restrições alimentares devem ser analisadas para cada pessoa, com base em suas condições de saúde, e sempre orientadas por um médico ou nutricionista. Seguir um regime exposto na revista, sem supervisão médica, pode trazer graves prejuízos para a saúde.

Fonte:

Ambulim, Hospital das Clínicas da FMUSP. Disponível em: <<http://www.ambulim.org.br/TranstornosAlimentares/Causas>>. Acesso em: 28 abr. 2016.

## Respostas às atividades

### Revendo e aplicando conceitos

1. Se o aluno observar o rótulo de chocolate em pó, por exemplo, notará a presença de carboidratos, de alguns sais minerais e de vitaminas (muitas vezes adicionados ao produto). Não há proteínas, lipídios ou fibras alimentares. Assim, a digestão do produto poderá ser iniciada na boca, se houver amido, e completada no duodeno, pela ação da amilase pancreática e das enzimas do suco intestinal; vitaminas e sais não sofrem digestão e são absorvidos no intestino delgado.

### Ciência, Tecnologia e sociedade

12. Os alimentos orgânicos são aqueles produzidos de acordo com determinados princípios:

- cuidado com o solo, sem o uso de insumos sintéticos;
- uso de métodos não contaminantes de controle de pragas, com proibição de agrotóxicos;
- valorização das espécies nativas e cultivadas de acordo com a estação;
- sementes transgênicas não são cultivadas;
- as condições de trabalho são dignas.

Saiba mais:

BRASIL; MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. *Produtos orgânicos: o olho do consumidor*. Brasília: MAPA, 2009. Disponível em: <<http://www.redezero.org/cartilha-produtos-organicos.pdf>>. Acesso em: 28 abr. 2016.

### Questões do Enem e de vestibulares

16. a) 4: Fígado – produz a bile, que emulsifica as gorduras. 5: Pâncreas – o suco pancreático contém lipases. 7: Intestino delgado – no duodeno, há secreção de lipases pelo suco intestinal. A absorção de ácidos graxos e glicerol, resultantes da digestão dos lipídios, ocorre no intestino delgado.

16. b) Como exemplo de enzimas que atuam na digestão de proteínas, os alunos podem citar a pepsina, a tripsina ou as peptidases do suco intestinal. Como exemplo de enzimas que atuam na digestão de carboidratos, os alunos podem citar a amilase salivar (ptialina), a amilase pancreática e as enzimas que digerem dissacarídeos, estas últimas secretadas pelo suco intestinal.

## Capítulo 4

Respiração, circulação e excreção

### Comentários gerais

A respiração, a circulação e a excreção são atividades relacionadas à nutrição do organismo. Pelo sistema respiratório, obtemos o gás oxigênio necessário para a respiração celular e eliminamos o gás carbônico resultante desse processo. Pelo sistema cardiovascular, nutrientes e oxigênio chegam a todas as células do corpo, assim como excretas são transportados até o órgão encarregado de sua eliminação. Pelo sistema urinário, excretas nitrogenadas e outras substâncias são retiradas do sangue e eliminadas pela urina.

Pode ser importante fazer um comentário em relação ao termo “respiração”: a respiração celular, que não deve ser confundida com a entrada e saída de ar do organismo, a ventilação pulmonar, também chamada popularmente respiração. A respiração celular é assunto tratado no volume 1 desta coleção. Além da diferenciação, é importante que os alunos façam a conexão entre esses dois processos: o oxigênio que chega às mitocôndrias entra no organismo pelo sistema respiratório, da mesma forma que o gás carbônico produzido na respiração celular é eliminado pelos pulmões.

No estudo deste capítulo, os alunos poderão perceber a integração entre os sistemas como responsável pelo funcionamento harmônico do corpo humano. Assim, será possível compreender certos cuidados essenciais à saúde, como a escolha de não fumar e a de ingerir quantidade adequada de água por dia.

### Sugestões de atividades complementares

**Página 99**

#### Elaboração de um jogo: o sistema imunológico

A resposta imunitária a uma infecção é informalmente comparada com um exército defendendo um território do inimigo. Baseando-se nessa analogia, os alunos, reunidos em equipes, podem criar um jogo de estratégia que contenha os tópicos estudados no capítulo a respeito da defesa imunitária inespecífica e/ou específica.

Além de muita criatividade, os alunos perceberão ser necessário aprofundar-se no tema, buscando compreender a ação dos diversos tipos de glóbulos brancos.

Incentive as equipes a utilizarem materiais que seriam descartados, ou que sejam recicláveis, na confecção do jogo. Os próprios alunos devem estabelecer as regras e os critérios para a atividade.

## Temas abordados: comentários e aprofundamentos

**Página 80**



### ATIVIDADE PRÁTICA

## A frequência cardíaca e a atividade física

### Comentário

Orientar os alunos a aproximarem o dedo indicador e o médio da região do punho, até sentirem os movimentos da pulsação. Da mesma forma, a região do pescoço onde se situa a artéria carótida pode ser utilizada. A região escolhida deve ser pressionada levemente. O aluno(a) que fará a medição deve manter um relógio na outra mão, contando o número de batimentos sentidos por 15 segundos. O valor obtido deve ser multiplicado por 4, para ter o total dos batimentos em um minuto. Caso existam alunos que não estejam em condições de cumprir com as situações propostas no procedimento 2 (caminhada e exercício físico), organize a atividade em duplas ou trios, de forma que um dos alunos realiza o procedimento e o outro acompanha e marca os parâmetros.

Professor(a), comente com os alunos que, uma vez feitas as medições, é preciso avaliar o que determinados dados expressam. Valores extremos, ou seja, muito altos ou muito baixos face à média dos valores encontrados, podem ter menor importância para efeitos de análise. É importante desenvolver a atividade em um ambiente de respeito e solidariedade, evitando situações vexatórias para alunos com necessidades especiais ou dificuldades físicas. Caso isso ocorra o professor pode aproveitar a situação para uma roda de conversa sobre as diferenças individuais e a importância de respeitar aos outros para ter também suas diferenças respeitadas. Discutir questões como essas auxilia na formação de indivíduos dentro de uma lógica sintonizada com os valores dos direitos humanos.

### Interpretando os resultados

- a. De maneira geral, isto é, em seu conjunto, espera-se que os dados mostrem que, quanto mais intensa a atividade física, maiores serão os valores de pulsação. No entanto, os atletas têm, quando em repouso, pulsação menor do que a de não atletas.
- c. A pulsação ocorre devido à pressão do sangue lançado nas artérias pela contração ventricular. Assim, existe uma relação diretamente proporcional entre batimentos cardíacos e pulsação. O número de batimentos cardíacos por unidade de tempo indica a frequência cardíaca. Geralmente, o aumento na frequência cardíaca está relacionado ao aumento da frequência respiratória. Nessa condição, o sangue é transportado mais rapidamente pelo corpo, e a oxigenação do sangue no sistema respiratório também se torna mais frequente.

## Página 84



## ATIVIDADE PRÁTICA

## Analisando a qualidade do ar

## Resultado esperado



Thiago Oliveira / Acervo do fotógrafo

## Indo além

## Principais poluentes do ar

**Aldeídos** – compostos emitidos na queima de combustível (principalmente etanol) em veículos automotores. Entre esses compostos está o formaldeído, de potencial carcinogênico. As reações mais comuns à presença de aldeídos são: irritação das mucosas, dos olhos e do nariz.

**Dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ )** – gás tóxico e incolor, que pode ser emitido, em pequena escala por fontes naturais (como vulcões e fontes termais); o maior volume é emitido, porém, pela queima de combustíveis fósseis contendo enxofre em sua composição. Este é um dos gases precursores da chuva ácida. Ele é prejudicial à saúde do sistema respiratório, principalmente no agravamento dos sintomas da asma.

**Hidrocarbonetos (HC)** – compostos de carbono e hidrogênio, que podem se apresentar na forma de gases, partículas finas ou gotículas (estado líquido). O metano ( $\text{CH}_4$ ) é um hidrocarboneto simples. Os HC são formados a partir de uma grande variedade de processos industriais e naturais, como a evaporação de combustíveis. Eles são precursores na formação de ozônio na troposfera (camada inferior da atmosfera), região da atmosfera em que ele é um poluente altamente tóxico.

**Ozônio ( $\text{O}_3$ )** – não é emitido diretamente, mas formado a partir de outros poluentes atmosféricos. Ele causa o agravamento de doenças do sistema respiratório e um longo período de exposição ao gás pode levar ao desenvolvimento de asma e à redução da capacidade respiratória pulmonar.

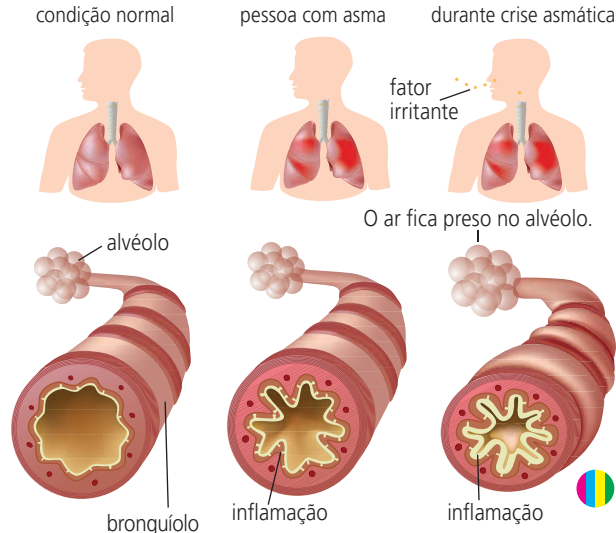
**Material particulado (MP)** – corresponde a uma mistura de substâncias, em estado sólido, com diâmetro reduzido (partículas). É emitido na combustão, por meio de motores movidos a combustíveis fósseis, queimadas e outros processos. A inalação de MP e seu acúmulo no sistema respiratório podem levar ao câncer, ao agravamento de sintomas de asma e à morte.

**Monóxido de carbono (CO)** – gás inodoro e incolor, é formado no processo de queima incompleta de combustíveis, que ocorre nos veículos. Por sua elevada afinidade com a hemoglobina, dificulta o transporte de gás oxigênio pelas hemácias. Em baixa concentração, o CO causa fadiga e dor no peito; em grande concentração pode causar morte por asfixia.

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), por ano morrem cerca de 7 milhões de pessoas em decorrência de doenças relacionadas à poluição do ar. Viver em uma cidade com ar poluído pode reduzir em 5 anos a expectativa de vida de uma pessoa, e a saúde de crianças, idosos e doentes crônicos é a mais afetada.

Asma, sinusite, bronquite, rinite alérgica, doenças dos pulmões e do coração são exemplos de doenças causadas pela poluição do ar.

Entre as doenças relacionadas à poluição do ar, vamos descrever a asma, de caráter crônico. Um fator irritante (a presença de poluentes atmosféricos, por exemplo) desencadeia uma reação inflamatória nas vias respiratórias que resulta em falta de ar, tosse crônica, chiado e sensação de aperto no peito. Há produção excessiva de muco e o espessamento das paredes dos bronquíolos e brônquios por causa da inflamação. Existem casos leves, moderados e graves, nos quais a pessoa pode sofrer asfixia pelo bloqueio da passagem do ar.



Alla Medical Media/Shutterstock

▲ Esquema comparando o interior de um bronquíolo de uma pessoa sem asma e de uma pessoa asmática antes e durante uma crise.

Fontes:

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Poluentes atmosféricos. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/poluentes-atmosfericos>>. Acesso em: 28 abr. 2016.

ONU-BR. OMS: Poluição do ar provoca morte de mais de 7 milhões de pessoas por ano. 27 out. 2015. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/oms-poluicao-do-ar-provoca-morte-de-mais-de-7-milhoes-de-pessoas-por-ano/>>. Acesso em: 28 abr. 2016.

TORTORA, G. J.; GRABOWSKI, S. R. *Corpo humano: fundamentos de anatomia e fisiologia*. 6. ed. Porto Alegre: Artes Médicas, 2006.



## Qualidade do ar

Para garantir ou melhorar a qualidade do ar, é preciso favorecer ações que vão do bairro a regiões mais amplas de seu entorno: proteção de áreas verdes, fontes de água e mananciais, redução de emissões de poluentes e tratamento de pessoas que já apresentam doenças respiratórias.

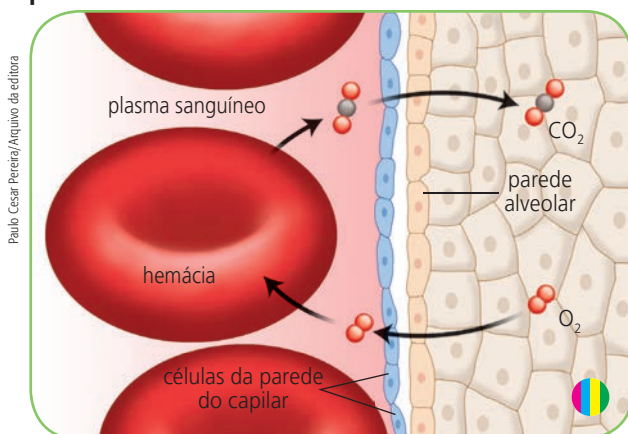
Os índices de qualidade do ar devem ser divulgados regularmente para a população, que pode então se mobilizar e exigir providências do poder público, caso o nível de poluição esteja acima dos limites considerados aceitáveis, o que compromete a saúde das pessoas.

### Página 87



#### PENSE E RESPONDA

### Trocas gasosas entre alvéolos e capilares pulmonares



### Página 88



#### PENSE E RESPONDA

### Anemia ferropriva

A anemia ferropriva é uma doença causada pela deficiência de ferro no organismo, o que reduz a produção de hemoglobina e prejudica o transporte de gás oxigênio pelo sangue. Como resultado, desenvolvem-se sintomas da baixa oxigenação do organismo, como fadiga, falta de concentração, tonturas, dores de cabeça, falta de ar, falta de apetite, palidez e batimentos cardíacos acelerados. Seu desenvolvimento geralmente é lento.

A deficiência de ferro no organismo pode ser resultado do consumo insuficiente de alimentos que são fonte de ferro, da má absorção pelo intestino ou como efeito de certas verminoses.

O diagnóstico deve ser feito por uma equipe médica, geralmente com base em exames como o hemograma, no qual se faz a contagem de hemácias por unidade de sangue, e da dosagem de ferro no sangue.

Para se evitar a anemia ferropriva causada pelo consumo deficiente de ferro na dieta, deve-se ingerir diariamente alimentos que são boas fontes desse nutriente, como carne vermelha, grãos, vegetais de folhas verde-escuras, algas marinhas e castanhas. A vitamina C auxilia na absorção de ferro e, por isso, é recomendável ingerir alimentos levemente ácidos, ricos nessa vitamina, em conjunto com aqueles que são ricos em ferro.

### Página 104

## LEITURA

### A altitude e a produção de hemácias

A estratégia de chegar logo antes da partida tem sido adotada, principalmente, para resolver problemas no calendário de jogos e na agenda lotada de jogadores. A estratégia minimiza o problema das adaptações fisiológicas à altitude elevada, já que os sintomas desconfortáveis decorrentes do ar rarefeito começam a se manifestar cerca de 2 horas após a chegada. Como os atletas têm bom preparo físico, podem suportar o esforço da partida, apesar de ser comum observar baixo rendimento nessas condições. O mais aconselhável seria chegar alguns dias antes do jogo, para o período de "aclimação".

## Respostas às atividades

### Revedo e aplicando conceitos

**2. b)** Quando as costelas são levantadas e o diafragma se abaixa, por contração muscular, a capacidade da caixa torácica aumenta e o ar penetra os pulmões, como se fosse "sugado", uma vez que a pressão interna se torna bem menor do que a externa (inspiração). Quando as costelas voltam à posição inicial e o diafragma sobe, comprimindo a caixa torácica, o ar é expulso dos pulmões (expiração).

**3. c)** A hematopoiese ocorre na medula óssea vermelha. Existem diversas vias de diferenciação celular, que levam à produção dos diferentes elementos do sangue. Problemas na produção de um ou mais tipos celulares do sangue podem estar relacionados às células precursoras da medula óssea.

**5. b)** As válvulas do revestimento interno das veias impedem o retorno do sangue em direção aos pés. Quando uma veia é comprimida por ação da musculatura da perna, algumas válvulas bloqueiam a passagem do sangue para baixo; a maior parte do sangue é então transportada para cima do local de compressão.

**8.** O sangue que entra nos rins contém ureia, sais minerais, glicose e outros nutrientes, hormônios, água, proteínas do plasma e os elementos figurados (hemácias, glóbulos brancos e plaquetas), entre outros materiais. O rim é um órgão que filtra o sangue, eliminando resíduos e excesso de água do organismo.

Dessa forma, ao sair dos rins, o sangue, em condições normais de saúde, contém os mesmos compostos: nutrientes, proteínas do plasma, hormônio e sais minerais, menos as excretas nitrogenadas liberadas junto com água, pela urina.

**9. b)** O hormônio antidiurético (ADH) promove a reabsorção de água nos túbulos distais do nefro e nos dutos coletores, levando à produção de um volume menor de urina. A secreção desse hormônio é controlada pelo volume sanguíneo. Jonas bebeu muito líquido e teve seu volume sanguíneo aumentado, o que inibiu a secreção de ADH e promoveu a liberação de muita água pela urina. Em José, o menor volume sanguíneo estimulou a secreção de ADH, que promoveu a reabsorção de água e a menor produção de urina.

**10. a)** Rins: formação da urina; ureteres: condução da urina da pelve renal à bexiga; bexiga urinária: armazenamento temporário e eliminação da urina; uretra: canal que conduz a urina da bexiga urinária ao meio externo.

### Trabalhando com gráficos

**12.** Durante a viagem, a concentração de hemoglobina e o número de hemácias por volume de sangue aumentaram. São adaptações fisiológicas que resultam maior eficiência na captação e transporte de oxigênio, em um ambiente em que o ar é rarefeito (a pressão parcial de  $O_2$  é menor do que ao nível do mar). Após a viagem, as mulheres retornaram à cidade de menor altitude e os níveis de hemoglobina e de hemácias no sangue apresentaram redução, voltando aos índices observados antes da viagem. As hemácias “em excesso” são destruídas e a medula óssea volta a produzir hemácias com concentração menor de hemoglobina.

### Ciência, Tecnologia e Sociedade

**14. a)** A inalação da fumaça do cigarro destrói o epitélio ciliado das vias respiratórias (traqueia, brônquios e bronquíolos), o que altera a função dessas células, que é a de limpar o ar antes que ele chegue aos alvéolos. Os pulmões ficam mais vulneráveis a infecções. Há aumento na produção de muco, que pode obstruir as vias respiratórias e causar tosse, entre outros problemas. Podem ocorrer destruição de alvéolos e perda da elasticidade do pulmão (enfisema pulmonar). Diversas substâncias presentes no cigarro são cancerígenas, podendo gerar tumores.

**14. c)** Desde 2011, é proibido fumar em fechados e em “fumódromos” instalados em estabelecimentos comerciais, em todo o Brasil. A lei antifumo e a fiscalização de seu cumprimento beneficiam as pessoas, que não ficam expostas à fumaça do cigarro.

**15. d)** As pessoas que vivem com HIV/aids possuem os mesmos direitos que qualquer cidadão brasileiro. O HIV não é transmitido pelo contato social – abraços, beijos, apertos de mão. Quando a aids se tornou uma epidemia mundial, nas décadas de 1980 e 1990, as pessoas eram estigmatizadas e muitas vezes afastadas

do convívio social devido ao preconceito. Surgiu o conceito do “grupo de risco”, que atualmente não é válido, conforme informado pelo Ministério da Saúde:

#### Atualmente, ainda há distinção entre grupo de risco e grupo de não risco?

Essa distinção não existe mais. No começo da epidemia, pelo fato de a aids atingir, principalmente, os homens homossexuais, os usuários de drogas injetáveis e os hemofílicos, eles eram, à época, considerados grupos de risco.

Atualmente, fala-se em comportamento de risco e não mais em grupo de risco, pois o vírus passou a se espalhar de forma geral, não mais se concentrando apenas nesses grupos específicos. Um exemplo disso é que o número de heterossexuais contaminados por HIV tem aumentado proporcionalmente com a epidemia nos últimos anos, principalmente entre mulheres.

Portal da Saúde. Aids. 28 jan. 2014. Disponível em: <<http://portalsaude.saude.gov.br/index.php/links-de-interesse/286-aids/9048-atualmente-ainda-ha-a-distincao-entre-grupo-de-risco-e-grupo-de-nao-risco>>. Acesso em: 29 abr. 2016.

Para combater o preconceito, é importante ter informações corretas a respeito da aids. Nesse sentido, foi criada também, em 1989, a Declaração dos Direitos Fundamentais da Pessoa Portadora do Vírus da Aids, assinada por profissionais da saúde e membros da sociedade civil. Conheça os direitos presentes na declaração:

#### Declaração dos Direitos Fundamentais da Pessoa Portadora do Vírus da Aids

I - Todas as pessoas têm direito à informação clara, exata, sobre a aids.

II – Os portadores do vírus têm direito a informações específicas sobre sua condição.

III - Todo portador do vírus da aids tem direito à assistência e ao tratamento, dados sem qualquer restrição, garantindo sua melhor qualidade de vida.

IV - Nenhum portador do vírus será submetido a isolamento, quarentena ou qualquer tipo de discriminação.

V - Ninguém tem o direito de restringir a liberdade ou os direitos das pessoas pelo único motivo de serem portadoras do HIV/aids, qualquer que seja sua raça, nacionalidade, religião, sexo ou orientação sexual.

VI - Todo portador do vírus da aids tem direito à participação em todos os aspectos da vida social. Toda ação que visar a recusar aos portadores do HIV/aids um emprego, um alojamento, uma assistência ou a privá-los disso, ou que tenda a restringi-los à participação em atividades coletivas, escolares e militares, deve ser considerada discriminatória e ser punida por lei.

VII - Todas as pessoas têm direito de receber sangue e hemoderivados, órgãos ou tecidos que tenham sido rigorosamente testados para o HIV.

VIII - Ninguém poderá fazer referência à doença de alguém, passada ou futura, ou ao resultado de seus testes para o HIV/aids, sem o consentimento da pessoa envolvida. A privacidade do portador do vírus deverá ser assegurada por todos os serviços médicos e assistenciais.

IX - Ninguém será submetido aos testes de HIV/aids compulsoriamente, em caso algum. Os testes de aids deverão ser usados exclusivamente para fins diagnósticos, controle de transfusões e transplantes, estudos epidemiológicos e nunca qualquer tipo de controle de pessoas ou populações. Em todos os casos de testes, os interessados deverão ser informados. Os resultados deverão ser transmitidos por um profissional competente.

X - Todo portador do vírus tem direito a comunicar apenas às pessoas que deseja seu estado de saúde e o resultado dos seus testes.

XI - Toda pessoa com HIV/aids tem direito à continuação de sua vida civil, profissional, sexual e afetiva. Nenhuma ação poderá restringir seus direitos completos à cidadania.

Portal da Saúde. Aids. 24 abr. 2014. Disponível em: <<http://portalsaude.saude.gov.br/index.php/links-de-interesse/286-aids/12306-direitos-fundamentais-dos-portadores-do-virus-hiv>>. Acesso em: 29 abr. 2016.

O curta-metragem brasileiro "O Pacote" (direção de Rafael Aider, Brasil, 18 min, cor) apresenta em linguagem voltada para o público jovem a história de um adolescente com HIV que começa uma paquera com um garoto da escola e se vê perante o dilema de contar ou não para ele a sua condição de saúde. O filme pode iniciar uma discussão abordando ética, prevenção, preconceito e solidariedade em relação às pessoas com HIV/aids.

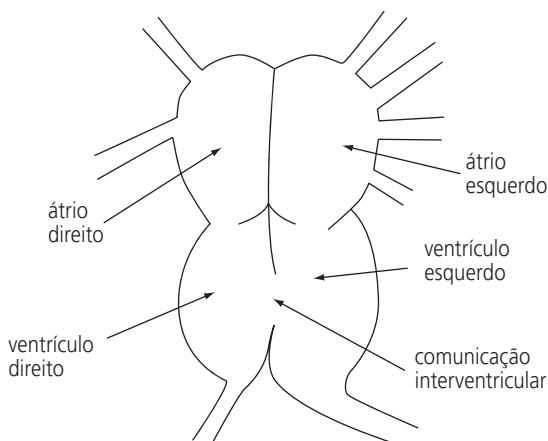
Nos últimos anos, houve aumento no número de pessoas vivendo com HIV; no Brasil, estima-se que existam entre 610 mil a 1 milhão de pessoas nessa condição (UNAIDS, 2016). Nesse cenário, torna-se fundamental abordar na escola a importância do preservativo como única forma de proteção contra a aids. Esse tema está presente também no próximo capítulo, em que as DST são abordadas.

Fonte:

UNAIDS Brasil. Disponível em: <<http://unaids.org.br/>>. Acesso em: 07 maio 2016.

### Questões do Enem e de vestibulares

17. a) Veja o esquema:



## Capítulo 5

### Controle hormonal e reprodução

#### Comentários gerais

Os principais hormônios envolvidos no controle das funções do organismo são apresentados com enfoque na saúde, com o objetivo de que o aluno perceba como os sistemas do corpo humano funcionam de forma integrada e complexa e como é importante fazer escolhas que não comprometam esse equilíbrio.

Como exemplo dessas situações de escolhas, apresentamos na forma de textos complementares os riscos de fumar durante a gravidez, a importância da amamentação e os riscos de consumir substâncias para aumentar o desempenho físico ou a massa muscular, situação que já levou diversos jovens à morte no Brasil.

Na seção *Vamos criticar o que estudamos?* (página 125 do livro), o tema é o diabetes, merecendo destaque o diabetes tipo II, que pode estar associado à obesidade, condição que tem se tornado cada vez mais frequente entre crianças e jovens.

Na segunda parte do capítulo, a ênfase recai na reprodução, com um enfoque diferente do apresentado no volume 1 desta coleção, no estudo da Embriologia animal. Trata-se de uma oportunidade de abordar o tema da educação sexual, tão importante em vista dos altos índices de gravidez não planejada na adolescência em nosso país. A gravidez na adolescência constitui, antes de mais nada, uma situação de risco para a gestante e para o bebê. A informação é uma das armas mais poderosas contra a gravidez não planejada e também contra a transmissão de doenças sexualmente transmissíveis. Entretanto, outros aspectos, além da informação, devem ser trabalhados no âmbito da educação sexual, de preferência em projetos interdisciplinares que envolvam toda a escola.

### Reflexões sobre o ensino de Biologia

#### Página 117

##### Educação sexual

De acordo com os documentos oficiais, como os Parâmetros Curriculares Nacionais, a "orientação sexual" é um tema transversal que deve estar presente em todas as disciplinas escolares, abrangendo não apenas os aspectos anatômicos e fisiológicos do corpo, mas também as ansiedades e os interesses dos alunos, incluindo as dimensões sociais e psíquicas envolvidas no conceito de sexualidade.



A inserção do tema no currículo escolar se justifica pelo enquadramento da gravidez na adolescência e da disseminação de doenças sexualmente transmissíveis como problemas de saúde pública, sendo a educação formal um dos principais meios de veicular informações e estimular a prevenção (ALTMANN, 2006; INSTITUTO DA INFÂNCIA, 2015).

O termo “educação sexual” vem sendo apontado como mais adequado por especialistas (ALTMANN, 2006), pois “orientação sexual” possui outro significado nos estudos em sexualidade, relacionado ao desejo sexual.

De qualquer modo, no cotidiano das escolas ainda é comum encontrar nas aulas de Ciências (Ensino Fundamental) e de Biologia (Ensino Médio) o principal espaço para a abordagem de temas ligados à sexualidade (ALTMANN, 2006). Existem relatos de alunos que, não tendo a possibilidade de conversar e tirar dúvidas com a família, têm no professor de Biologia a principal fonte de informações envolvendo o sexo e a saúde (De CICCIO; VARGAS, 2013).

Pesquisas nessa área indicam que as informações biológicas a respeito do sistema genital do ser humano, das principais doenças sexualmente transmissíveis e dos métodos contraceptivos são o foco do trabalho em sala de aula. No entanto, esses temas geralmente despertam interesses e dúvidas e, a partir disso, podem surgir oportunidades de abordar outros aspectos, além dos biológicos, mantendo-se uma atmosfera de acolhimento e respeito. Segundo De Ciccio e Vargas:

O contexto educacional contemporâneo tem exigido dos professores a capacidade de suscitar em seus alunos experiências pedagógicas diversificadas e alinhadas com a sociedade na qual estão inseridos. Nessa perspectiva, os materiais de ensino, e, sobretudo o livro didático (LD), têm papel relevante considerando sua centralidade no âmbito da formulação das políticas públicas de Educação. Contudo, os componentes de uma aprendizagem significativa no campo do ensino e da educação, incluindo o ensino de ciência, requerem condições básicas, para além daqueles presentes nos materiais, para que os novos conhecimentos adquiram significado para o sujeito. (De CICCIO; VARGAS, 2013)

Nesse sentido, buscamos oferecer neste capítulo um conjunto conceitual que esclareça ao aluno como funciona o sistema genital e quais são os cuidados básicos para manter sua saúde. Na seção *Leitura*, apresentamos o conceito mais amplo de saúde sexual e direitos sexuais, o que pode servir de ponto de partida para investigações mais aprofundadas no tema da sexualidade. Recomendamos a consulta a materiais do Ministério da Saúde e de ONGs (como a cartilha *Primeira infância e gravidez na adolescência*, do Instituto da Infância).

Recomendamos uma prática que vamos chamar de “rodas de conversa”, da qual participam os alunos e professores de diversas disciplinas. Nas primeiras conversas, é importante levar algumas questões para serem discutidas e anotar comentários e dúvidas formulados pelos alunos. Esse material anotado deve ser posteriormente analisado pelos professores, procurando verificar pontos considerados polêmicos, expressões de preconceito, dificuldades etc., e a partir disso serem elaboradas as novas rodas de conversa. Dependendo das questões levantadas, profissionais como médicos, enfermeiros, psicólogos e ativistas podem ser convidados a participar de uma das conversas.

Veja que interessante a análise realizada por De Ciccio e Vargas (2013), entrevistando jovens do Ensino Médio de uma escola do Rio de Janeiro (RJ):

O discurso relativo à adoção de práticas preventivas apresenta-se por sua vez impregnado pelas relações de gênero, como observado na fala de outros alunos:

“Acho que homem se previne menos, porque vai na questão do impulso. Tá ali na hora entendeu, às vezes esquece. Já aconteceu comigo uma vez com minha namorada. A mulher tá sempre ali: não e não sei o que, tem que usar camisinha, tem que tomar remédio. O homem age mais no impulso” (Jefferson, 18 anos, masculino).

Jefferson justifica sua negligência na adoção de práticas preventivas remetendo-a a uma incompatibilidade entre seus impulsos e o planejamento da contracepção. A tendência recai em delegar esta função à mulher, que segundo ele é mais controlada e preocupada com as questões que envolvem a sexualidade. Essa visão colocada por Jefferson demonstra a existência de concepções distintas de sexualidade entre gêneros que permeiam as práticas preventivas onde estão implicadas noções diferenciadas de saúde, força e virilidade associados ao masculino e ao feminino. (De CICCIO; VARGAS, 2013)

Uma postura como a relatada pelas pesquisadoras poderia suscitar o questionamento: “Por que os homens agem por impulso e não se preocupam em usar camisinha? Será que todos os homens são assim?”. A partir daí, os alunos poderão refletir a respeito da construção social de gênero, dos comportamentos esperados para homens e mulheres, e como certos modelos podem ser questionados e até modificados.

Fontes:

ALTMANN, H. Sobre a educação sexual como um problema escolar. *Revista Linhas* v. 7 n. 1. Florianópolis: Udesc, 2006. Disponível em: <<http://www.periodicos.udesc.br/index.php/linhas/article/view/1324/1133>>.

De CICCIO, R. R.; VARGAS, E. P. Gênero, sexualidade e DST: perspectivas para o campo de ensino de ciências. *Seminário Internacional Fazendo Gênero 10*. Florianópolis, 2013. Disponível em: <[http://www.fazendogenero.ufsc.br/10/resources/anaeis/20/1386699116\\_ARQUIVO\\_RobertaRibeiroDeCiccio.pdf](http://www.fazendogenero.ufsc.br/10/resources/anaeis/20/1386699116_ARQUIVO_RobertaRibeiroDeCiccio.pdf)>.

INSTITUTO DA INFÂNCIA. Primeira infância e gravidez na adolescência. 2015. Disponível em: <<http://primeirainfancia.org.br/wp-content/uploads/2015/01/Cartilha-Gravidez-Adol-FINAL-HD.pdf>>.

Acessos em: 29 abr. 2016.

## Sugestões de atividades complementares

### Página 121

#### Reflexão a respeito da aids

Um bom recurso para iniciar uma reflexão a respeito da aids é o filme “Filadélfia” (título original em inglês: *Philadelphia*, direção de Jonathan Demme, EUA, 1993, 125 min, cor). O filme mostra a luta, nos tribunais, de um jovem advogado que perde seu emprego quando os padrões descobrem que ele é uma pessoa vivendo com o HIV. Deve ser analisado dentro do contexto e da época em que foi produzido, no início da década de 1990. É apropriado, porém, para iniciar uma reflexão e/ou discussão sobre a questão do preconceito, não apenas em relação a pessoas vivendo com HIV/ aids, mas a qualquer condição humana. Permite também a observação, complementada por uma pesquisa, a respeito das mudanças em tratamento e legislação, nas últimas décadas.

## Temas abordados: comentários e aprofundamentos

### Página 109

#### Glândula mista

Existem duas definições possíveis para as glândulas mistas. Conforme apresentamos no livro, a glândula é considerada mista se possui regiões exócrinas e endócrinas, caso do pâncreas.

Uma outra classificação é feita com base no tipo de secreção produzida pela glândula, sendo possível distinguir glândulas mucosas, serosas ou mistas.

As glândulas mucosas produzem secreções viscosas, compostas principalmente de mucopolissacarídeos. As glândulas serosas liberam secreções aquosas e lípidas, caso das parótidas. As glândulas mistas, quanto ao tipo de secreção, possuem unidades secretoras dos dois tipos, mucoso e seroso. São exemplos as glândulas sublingual e submandibular.

Fonte:  
JUNQUEIRA, L. C.; CARNEIRO, J. *Histologia básica*. 11. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.

### Página 111

#### Glândulas e hormônios do ser humano

No texto a seguir, há informações mais detalhadas a respeito das glândulas e hormônios apresentados no capítulo, que podem ser trabalhadas com os alunos, caso o professor perceba essa necessidade.

##### 1. Hipófise

Também conhecida como glândula pituitária, localiza-se na base do crânio e tem o tamanho aproximado de uma ervilha. Está ligada ao cérebro por um

pedúnculo, em que estão abrigados prolongamentos de neurônios do hipotálamo, que se comunicam diretamente com a glândula. A hipófise apresenta uma região anterior chamada adenoipófise e uma região posterior, a neuroipófise.

A maioria dos hormônios produzidos pela adenoipófise atua estimulando a atividade de outras glândulas endócrinas, sendo chamados de hormônios trópicos: hormônio folículo estimulante (FSH), hormônio luteinizante (LH), hormônio adrenocorticotrópico (ACTH), hormônio tireoideotrópico (TSH).

Os hormônios não trópicos sintetizados pela adenoipófise são o hormônio do crescimento (GH) e a prolactina.

A secreção de hormônios pela adenoipófise é regulada, entre outros mecanismos, pelo hipotálamo, que produz “hormônios de liberação”, que podem estimular ou inibir a glândula.

##### 1.1 Hormônio do crescimento (GH)

Alguns casos de nanismo resultam da deficiência na secreção de GH durante a infância. Apesar de proporcional, o corpo do indivíduo apresenta tamanho reduzido. Uma vez diagnosticado corretamente, esse tipo de nanismo pode ser tratado, sob orientação médica, com a administração de GH humano obtido em laboratório, por meio de culturas de bactérias modificadas geneticamente. O tratamento pode promover o aumento do tamanho da criança com nanismo até níveis praticamente normais.

Quando a glândula adenoipófise produz e libera GH em excesso durante o período de crescimento, o resultado é o gigantismo. Todos os tecidos do corpo crescem rapidamente, inclusive os ossos, determinando alturas muito acima da média da população. O gigantismo precisa ser diagnosticado, pois, em muitos casos, decorre de um tumor nas células da hipófise responsáveis pela secreção de GH e precisa ser removido, pois pode destruir toda a glândula.

Se a secreção excessiva de GH ocorre na vida adulta, o indivíduo não cresce em altura, pois o tecido ósseo de um adulto não responde mais ao hormônio. No entanto, tecidos cartilagosos reagem, determinando o crescimento anormal de certas partes do corpo, como mandíbula, mãos e pés, caracterizando a acromegalia.

##### 1.2 Prolactina

Durante a gestação, os níveis de prolactina no organismo materno começam a aumentar, determinando a produção de leite pelas glândulas mamárias. Até o nascimento do bebê, a mãe elimina apenas uma pequena

quantidade de colostro, um líquido que contém proteínas e lactose, mas não contém as gorduras presentes no leite materno. Dois ou três dias após o parto, a ação da prolactina nas mamas torna-se máxima, havendo a liberação de grande quantidade de leite.

Em poucas semanas, o nível de secreção de prolactina diminui e volta a ser como no período anterior à gravidez. No entanto, toda vez que a mãe amamenta o bebê, há um rápido aumento nos níveis sanguíneos de prolactina, suficiente para estimular a produção de leite para a próxima mamada. Quando há interrupção da amamentação, esses “picos” na secreção de prolactina cessam e as mamas perdem, em poucos dias, sua capacidade de produzir leite. Outros fatores, como o estresse e a depressão pós-parto, também podem afetar a liberação de prolactina após o nascimento.

### 1.3 A ejeção do leite: exemplo de interação dos sistemas nervoso e endócrino

O mecanismo da descida do leite pelos ductos das glândulas mamárias até os mamilos durante o período da amamentação constitui um exemplo interessante de como o sistema nervoso e o controle hormonal atuam juntos na harmonia das funções do organismo.

O estímulo para a liberação de ocitocina surge quando o bebê suga os mamilos de sua mãe. Nervos sensitivos localizados nas mamas são então ativados e enviam estímulos que chegam ao cérebro e finalmente ao hipotálamo, que assim libera o hormônio via neuroipófise. O sangue transporta a ocitocina até as mamas. A ocitocina provoca contrações nas paredes das glândulas mamárias, resultando na expulsão do leite. Todo esse mecanismo é bastante rápido e eficiente: após o início da sucção, a ejeção do leite se inicia em menos de um minuto.

Como a liberação de ocitocina é regulada pelo sistema nervoso, certos fatores como estresse, depressão e outros desequilíbrios psicológicos podem alterar ou inibir o mecanismo da ejeção do leite.

## 2. Glândula tireóidea

Localizada abaixo da laringe, na região do pescoço, a glândula tireóidea apresenta formato característico, com dois lobos. Ela produz dois hormônios envolvidos na taxa metabólica do organismo: tri-iodotironina (T3) e tiroxina (T4). Os números indicados – 3 e 4 – referem-se ao número de átomos de iodo presentes nas moléculas desses hormônios. Assim, para a síntese de T3 e T4, o organismo humano necessita de pequenas quantidades diárias de iodo, que devem ser obtidas pela alimentação.

Além de T3 e T4, a glândula tireóidea produz o hormônio calcitonina, que inibe a remoção de cálcio dos ossos.

### 2.1 O bócio endêmico

Existe um caso especial de hipotireoidismo, o bócio endêmico, que surge em diversas pessoas que vivem em uma mesma região. Por que isso acontece?

Estima-se que seja necessário cerca de 1 mg de iodo por semana para a produção normal dos hormônios T3 e T4 pela glândula tireóidea de um adulto. Peixes, frutos do mar, laticínios e vegetais cultivados em solos ricos em iodo são boas fontes desse mineral.

Em certas regiões do mundo, porém, a alimentação não fornece a quantidade de iodo necessária ao organismo. Isso acontece devido a solos pobres nesse mineral, como ocorria nos Andes e na região dos Grandes Lagos (EUA) e em várias cidades do interior do Brasil.

Como consequência da baixa ingestão de iodo, muitos moradores dessas regiões apresentavam glândulas tireóideas aumentadas, conhecidas como bócio endêmico. O termo “endêmico” refere-se a algo característico de uma região geográfica.

Como a falta de iodo impede a síntese de T3 e T4, a baixa taxa desses hormônios no sangue estimula a liberação de TSH pela glândula hipófise, por *feedback* negativo. Sob estímulo excessivo do TSH, a glândula tireóidea passa a crescer, sem que haja aumento na produção dos hormônios T3 e T4.

Com a identificação das causas do bócio endêmico, foi proposta em muitos países a adição de iodo ao sal de cozinha (cloreto de sódio). Como a quantidade diária de iodo necessária é muito pequena, a produção de sal iodado não representa prejuízo para os produtores e não altera o sabor e as propriedades do sal. No Brasil, a primeira lei que tornou obrigatória a adição de iodo ao sal foi aprovada em 1953. Como o sal de cozinha é um produto barato e consumido diariamente pelas pessoas, o número de casos de bócio endêmico no país está atualmente bastante reduzido, sendo observado ainda em algumas cidades das regiões Norte e Nordeste (dados de 2000\*).

É importante lembrar que o sal deve ser consumido sem excessos para não contribuir no desenvolvimento de outras doenças, como a hipertensão. O sal para consumo animal não serve para preparos domésticos, pois ele não contém iodo.

(\*) Para saber mais: Portal do Ministério da Saúde. Prevenção e Controle de Agravos Nutricionais. Disponível em: <[http://dab.saude.gov.br/portaldab/ape\\_pcan.php?conteudo=deficiencia\\_iodo](http://dab.saude.gov.br/portaldab/ape_pcan.php?conteudo=deficiencia_iodo)>. Acesso em: 29 abr. 2016.



### 3. Glândulas paratireóideas

Elas sintetizam o paratormônio, que, assim como a calcitonina, está envolvido na manutenção do nível de cálcio no sangue. No entanto, calcitonina e paratormônio apresentam ações antagônicas: enquanto o primeiro estimula a deposição de cálcio nos ossos, o segundo estimula a sua retirada, causando aumento na concentração sanguínea de cálcio.

O paratormônio também contribui para o aumento da taxa de cálcio no sangue (calcemia), aumentando a absorção deste no intestino e a reabsorção do íon pelos rins. A calcitonina tem efeito contrário.

É possível concluir, portanto, que o controle da secreção desses dois hormônios depende da concentração de cálcio no sangue: se há um aumento da calcemia, a secreção de calcitonina é estimulada e há deposição de cálcio nos ossos; se há diminuição da calcemia, a secreção de paratormônio é estimulada e há liberação de cálcio pelos ossos.

A absorção de cálcio no intestino é coordenada não apenas pelo paratormônio, mas também pela vitamina D, que atua com ele. A vitamina D é sintetizada na pele, quando exposta aos raios solares. Em regiões com invernos rigorosos e prolongados, muitas vezes as crianças são submetidas a banhos de luz para evitar o raquitismo, causado pela deficiência de vitamina D no organismo.

### 4. Glândulas adrenais (suprarrenais)

Localizadas sobre a extremidade superior dos rins, as glândulas adrenais apresentam duas regiões que produzem secreções distintas: a região cortical (ou córtex), correspondente à região periférica da glândula, e a região medular (ou simplesmente medula), na área central.

O córtex das adrenais sintetiza os hormônios corticosteroides, que podem ser divididos em três grupos, de acordo com suas funções principais: os glicocorticoides, os mineralocorticoides e os hormônios sexuais.

A liberação de hormônios pelo córtex da adrenal é coordenada pelo hormônio ACTH, secretado pela adenoipófise sob estímulo do hipotálamo. Quando os níveis dos hormônios se tornam aumentados no sangue, a liberação de ACTH é inibida por *feedback* negativo.

Na medula das glândulas adrenais é produzido o hormônio adrenalina ou epinefrina. Essa substância também é produzida por neurônios, sendo um neurotransmissor. No entanto, a liberação de adrenalina pelas glândulas adrenais gera efeitos mais intensos

e prolongados que o estímulo nervoso determinado pela liberação de adrenalina em uma sinapse.

A adrenalina provoca aumento da taxa metabólica e geralmente está associada a um estado de alerta, com aumento do ritmo cardíaco e da ventilação pulmonar, aumento da taxa de glicose no sangue e inibição de atividades nos sistemas digestório e renal, entre outros efeitos.

### 5. Pâncreas

O pâncreas é uma glândula mista localizada abaixo do estômago, na cavidade abdominal. A região endócrina é composta pelas ilhotas pancreáticas, que produzem os hormônios insulina e glucagon, que atuam na manutenção do nível de glicose no sangue.

Os carboidratos, ao passarem pelo sistema digestório, são degradados em monossacarídeos, como a glicose. Assim, após uma refeição rica em carboidratos, a taxa de glicose no sangue aumenta rapidamente. Isso estimula a secreção de insulina pelo pâncreas. A insulina promove a retirada de glicose do sangue e a sua utilização por quase todos os tecidos do corpo, especialmente pelo fígado, pelos músculos e pelo tecido adiposo.

A insulina estimula o armazenamento de glicose no fígado na forma de glicogênio, um polissacarídeo. No intervalo entre duas refeições, há um período de jejum, no qual o nível de glicose no sangue cairia bruscamente, não fosse a degradação do glicogênio do fígado em glicose, que retorna então ao sangue. A degradação do glicogênio é estimulada pelo glucagon.

A regulação da secreção de insulina e de glucagon decorre principalmente do nível de glicose no sangue: quando elevado, estimula a liberação de insulina; quando reduzido, inibe a secreção de insulina e estimula a liberação de glucagon.

A manutenção do nível de glicose no sangue, evitando-se desequilíbrios muito grandes, é importante especialmente para o cérebro, que utiliza apenas glicose como fonte para produção de energia. Em outros tecidos do corpo, na ausência de glicose as células conseguem utilizar outros materiais, como lipídios e proteínas, para produção de energia.

A secreção deficiente de insulina pelo pâncreas gera o diabetes mellitus tipo I. Existe também o diabetes mellitus tipo II, ou diabetes de início tardio, que geralmente não acomete indivíduos jovens e está associada à obesidade. Ela não decorre da produção deficiente de insulina pelo pâncreas, mas, sim, de um problema nos órgãos-alvo da insulina, que perdem a capacidade de responder à presença do hormônio.

Situação oposta à da deficiência de insulina, quando há hiperglicemia (aumento da taxa de glicose no sangue), ocorre na produção excessiva do hormônio pelas ilhotas pancreáticas. Geralmente o indivíduo sofre de hipoglicemia, com a captação muito rápida da glicose do sangue logo após uma refeição.

Fonte:  
TORTORA, G. J.; GRABOWSKI, S. R. *Corpo humano: fundamentos de anatomia e fisiologia*. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. p. 504.

## Página 115

### Gametogênese

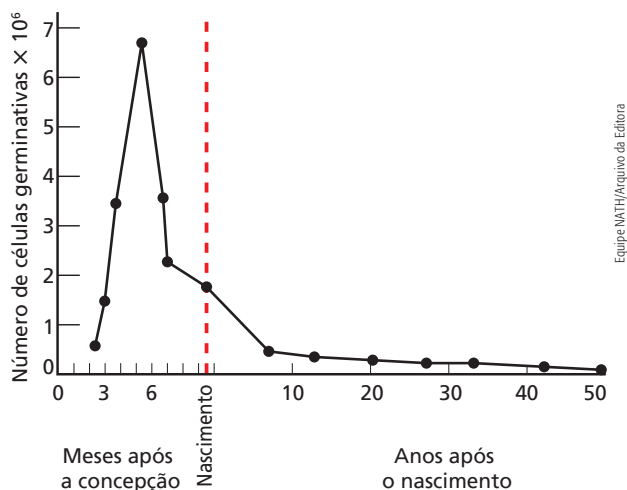
A ovogênese difere da espermatogênese em diversos aspectos. Na formação dos óvulos, além do núcleo haploide, o gameta desenvolve um complexo citoplasma, contendo enzimas e organelas. A gametogênese na espécie humana está descrita no volume 1 desta coleção.

No embrião feminino, o desenvolvimento das ovogônias (células precursoras dos ovócitos) se inicia no segundo mês de gestação e se estende até o sétimo mês, intervalo no qual se formam cerca de 7 milhões dessas células. Após o sétimo mês de gestação, esse número cai bruscamente e as ovogônias restantes iniciam a meiose I, estacionando antes de concluir a prófase I. Essas células, agora classificadas como ovócitos I, assim permanecem até a puberdade (cerca de 12 anos de idade).

Com a chegada da puberdade, grupos de ovócitos I retomam os processos da meiose, estacionando na metáfase da segunda divisão meiótica. Com a menarca, os ovócitos II começam a ser liberados, geralmente um a cada ciclo menstrual.

Dos milhões de ovócitos I presentes nos ovários ao nascimento, cerca de 400 chegam a ovócitos II durante a vida de uma mulher.

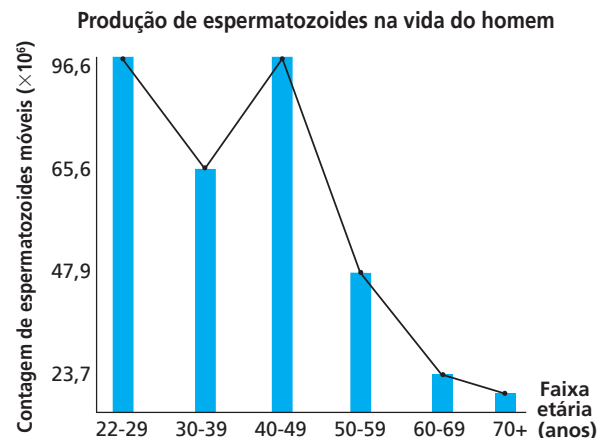
Número de células germinativas de uma mulher, ao longo da vida



Fonte:  
GILBERT, S. F. *Developmental biology*. 10. ed. Sinauer Associates, 2013, p.20.

Na espermatogênese, os espermatozoides são produzidos a partir da puberdade, sob estímulo hormonal, e se torna um processo contínuo ao longo da vida do homem. Milhões de espermatozoides são produzidos e, quando não liberados na ejaculação, degeneram no próprio sistema genital.

Da puberdade até a terceira idade, a quantidade de espermatozoides móveis (viáveis) diminui progressivamente.



Fonte:  
ESKENAZI, B. et al. The association of age and semen quality in healthy men. *Human reproduction*, v. 18, n. 2, set. 2002, p. 447-454.

## Páginas 126 e 127

### LEITURA

#### 1) Alerta: o perigo das bombas

b) Uma alternativa ao debate é uma atividade de júri simulado. Com base em uma reportagem levada pelos alunos, relatando um caso de *doping*, a turma deve se organizar em equipes e simular o julgamento do atleta acusado. Um grupo de alunos representará a acusação, outro será a defesa e um terceiro grupo pode ser o corpo de jurados. Diversos aspectos podem ser considerados na argumentação dos grupos: a pressão por resultados positivos sofrida pelo atleta, sua rotina estafante, as regras da competição, o tipo de *doping*, a acuidade do exame etc. Destaque aos alunos que eles serão avaliados pela qualidade de seus argumentos.

#### 2) O que é saúde sexual?

Com esta atividade, os alunos poderão perceber a sexualidade como parte integrante da vida humana. Sua expressão faz parte, portanto, dos direitos humanos. Uma pessoa não deve ser julgada em sua capacidade profissional, por exemplo, com base em sua orientação sexual ou identidade de gênero.

Conduza a atividade promovendo um ambiente de acolhimento às questões trazidas pelos alunos e respeito às diversas opiniões, não permitindo comentários maldosos e preconceituosos. Os preconceitos podem ser questionados e desconstruídos a partir da percepção de que esta é uma questão mais ampla, que envolve os direitos humanos e a busca pela construção de uma sociedade mais justa.

## Respostas às atividades

### Revedo e aplicando conceitos

**3. a)** O diabetes insípido é causado pela deficiência na secreção do hormônio antidiurético, o que resulta na produção excessiva de urina. Com um volume menor de água no sangue, a glicemia aumenta, gerando os sintomas de diabetes. O diabetes mellitus tipo I é causado pela produção deficiente de insulina, o hormônio que reduz a glicemia. O diabetes mellitus

tipo II resulta de outros mecanismos que reduzem a sensibilidade das células à insulina, e geralmente está associado à obesidade.

**3. b)** Com a ingestão de alimento, a glicemia aumenta, o que estimula a secreção de insulina pelo pâncreas. A ação da insulina promove a redução da glicemia, o que estimula a liberação, pelo pâncreas, do hormônio glucagon, ao mesmo tempo em que a secreção de insulina é inibida.

**3. c)** O diabetes é uma doença que, sem o tratamento médico adequado, pode ter consequências graves, como cegueira, gangrena (principalmente nas pernas), problemas cardiovasculares, entre outros.

**7. d)** Os hormônios hipofisários envolvidos no ciclo menstrual são o FSH e o LH. O FSH atua estimulando o desenvolvimento de um folículo ovariano e a liberação do gameta feminino (ovulação). O LH, por sua vez, estimula a formação do corpo lúteo após a ovulação. Indiretamente, esses hormônios regulam as taxas de estrogênio e progesterona ao longo do ciclo menstrual, pois esses dois últimos hormônios são secretados pelos folículos ovarianos.

## UNIDADE 2

### Genética

**Capítulo 6** – Genética: Primeira Lei de Mendel

**Capítulo 7** – Polialelia

**Capítulo 8** – Segunda Lei de Mendel

**Capítulo 9** – Genética pós-Mendel

**Capítulo 10** – Biologia molecular do gene: síntese proteica e engenharia genética

### Objetivos gerais da unidade

Como a Ciência explica a diversidade de espécies existente no planeta Terra? E a diversidade dentro de uma espécie, com variabilidade nas características entre os indivíduos de uma população? Quais são os mecanismos que explicam a hereditariedade? Como um exame de DNA pode confirmar ou descartar a identidade de um pai desconhecido? O que são organismos transgênicos? Compreender questões como essas, com as quais o aluno já deve ter se deparado em veículos da mídia, são objetivos que podem ser atingidos pelo ensino dos conceitos de Genética.

Pretende-se que os alunos compreendam que a hereditariedade se baseia na transmissão de genes, relacionada ao processo de divisão celular e à reprodução. O capítulo 10, que aborda a biologia molecular do gene, permite compreender como os genes estão envolvidos na determinação das características fenotípicas de um indivíduo, aprofundando os conhecimentos sobre o processo de síntese proteica, tema comentado anteriormente nesta coleção, no volume 1. Os conceitos de DNA, genes, RNA, ribossomos, divisão celular e hereditariedade podem ser inter-relacionados, permitindo ao aluno vislumbrar a complexidade da vida e superar, mesmo em um nível



básico de compreensão, a fragmentação que o conhecimento invariavelmente sofre ao se organizar um curso de Biologia para o Ensino Médio. As técnicas de engenharia genética são apresentadas com enfoque em seus princípios e objetivos gerais, permitindo que o aluno desenvolva condições de acompanhar e participar das discussões éticas acerca da manipulação de genes. Esse é um tema que deve envolver toda a sociedade.

Os mecanismos de herança genética abordados na unidade seguem uma sequência crescente de complexidade, iniciando com os casos de monoidrismo (Primeira Lei de Mendel) e suas variações, passando pelo estudo da polialelia, da Segunda Lei de Mendel, da pleiotropia, das interações gênicas e da herança relacionada aos cromossomos sexuais. Essa sequência permite também uma abordagem fundamentada na história da Ciência, partindo dos primeiros estudos sistemáticos em genética pelo monge austríaco Gregor Mendel.

## Abertura da unidade



A fotografia apresentada na abertura desta unidade traz diferentes variedades de coelhos em relação à cor e ao padrão da pelagem.

Estamos considerando apenas duas características que fazem parte da morfologia externa dos coelhos. Como explicar tamanha variabilidade entre indivíduos de uma mesma espécie? Essa é uma questão problematizadora que pode auxiliar você na identificação de conhecimentos prévios que os alunos têm sobre hereditariedade e genética.

Na história recente da Biologia, é possível obter novas variedades de organismos pela manipulação de genes, com a aplicação de ferramentas desenvolvidas pela engenharia genética. Essa possibilidade indica que já se conhece uma parte dos mecanismos que controlam a herança de características, ou seja, a Ciência está desvendando a biologia molecular do gene.

Outras questões são colocadas na abertura, para orientar essa discussão inicial e despertar o interesse

pelo tema desta unidade, a Genética. Sugerimos que, ao final da unidade, as questões sejam retomadas, como forma de avaliar o que foi aprendido ao longo dos capítulos.

## CAPÍTULO 6

### Genética: Primeira Lei de Mendel

#### Comentários gerais

Pretende-se que os alunos compreendam que a hereditariedade se baseia na transmissão de genes, pelos processos de divisão celular e reprodução sexuada, e que este fato está relacionado à variabilidade dentro de uma espécie. Os conceitos de cromossomos homólogos, locos gênicos, alelos, célula haploide e diploide, abordados no volume 1 desta coleção, são agora necessários para a compreensão da Primeira Lei de Mendel.

É importante que os alunos compreendam os fundamentos da Primeira Lei de Mendel para que possam acompanhar os outros casos de herança genética.

O texto estabelece um verdadeiro diálogo com os alunos, apresentando o conteúdo por meio de resoluções de problemas e esquemas representando cruzamentos. Há também atividades complementares propostas ao longo do capítulo para verificação da aprendizagem.

Para facilitar a identificação dos alelos citados no texto, eles estão indicados por letras em *itálico*.

## Reflexões sobre o ensino de Biologia

### Página 132

#### História da Genética na sala de aula

Dentro da pesquisa em ensino de Ciências e Biologia, existe a área que se dedica à análise da História da Ciência (HC) e como ela é abordada em sala de aula, em livros e outros materiais didáticos. É um consenso entre pesquisadores a importância da HC para desenvolver, entre os alunos, o pensamento científico, evitando nutrir a falsa concepção de que a Ciência é um conjunto de fatos, ou verdades, a serem descobertos por abnegados cientistas, em trabalhos individuais e isolados.

Com o objetivo de desenvolver a curiosidade e a motivação para estudar, questionar e analisar criticamente uma situação, a HC é importante por mostrar que a Ciência não é apenas um produto – o conhecimento científico – mas é também um processo,

exercido por pessoas inseridas em um contexto histórico, social e cultural que influencia sua atividade.

Vejam um exemplo claro dessa influência: por que não há menção ao trabalho de mulheres cientistas quando nos deparamos com episódios da HC nos séculos VI a XIX? Com raríssimas exceções, as mulheres não estavam presentes na comunidade científica, tampouco em outras esferas sociais, como a política. Elas eram privadas do acesso ao conhecimento, o que evidencia que a falta de mulheres na Ciência não era uma questão inerente a esta atividade, mas ao contexto sociocultural da época.

Segundo estudos na área de ensino, os conceitos de Genética são considerados “difíceis” pelos alunos, por serem muito abstratos. Geralmente, há um interesse inicial devido a questões presentes na mídia (testes de DNA, alimentos transgênicos, clones etc.), seguido de um desânimo causado pela apresentação descontextualizada dos conceitos básicos de genética. A HC pode ser uma opção de contextualização no ensino de Genética:

A área da Genética, diante de tantos avanços tecnológicos, vem gerando muitas incertezas, e deve-se perceber que nem toda a aplicação dos conhecimentos descobertos recentemente tem como objetivo promover o bem-estar da sociedade. Assim, a importância de um estudo bem contextualizado historicamente permite conhecer como se dá a atividade científica, contribuindo para que se formem cidadãos críticos e reflexivos, capazes de se posicionar sobre as implicações que o uso da biotecnologia traz para a sociedade e a natureza. O estudo da História da Genética abre espaço, portanto, para a discussão de outra questão de extrema importância no ensino de Genética: a Bioética. (KOVALESKI; ARAÚJO, 2013, p. 162)

As pesquisadoras citadas, da Unijuí (RS), analisaram coleções de livros didáticos de Biologia para o Ensino Médio verificando o tratamento dado à HC nos capítulos que tratavam de Genética. Segundo elas, muitas vezes essa abordagem se restringe a dados biográficos de cientistas, sem a menção ao contexto histórico no qual uma determinada pesquisa ocorreu. A maioria dos textos biográficos constava na introdução dos capítulos ou em quadros separados do texto principal. Elas citam uma publicação na qual se afirma: “[...] em geral, o que é visto nas escolas é que, ao se utilizar os livros didáticos, o conteúdo efetivamente trabalhado é o que está no texto em si, e não em quadros, introduções, legendas e notas” (PASQUETTI, 2011 apud KOVALESKI; ARAÚJO, 2013, p. 158).

Nesse sentido, devemos, em primeiro lugar, considerar que o livro didático é um recurso fundamental no ensino escolar, o que não significa que esteja livre de limitações – o número de páginas e o projeto gráfico-editorial são duas delas.

Em segundo lugar, o livro didático não deve ser o único recurso didático utilizado em sala de aula. Para o ensino de Genética, as aulas podem contar com o apoio de filmes de ficção, documentários, livros paradidáticos, animações e jogos. Recomendamos, nesse sentido, as sugestões fornecidas ao longo dos capítulos na seção *Multimídia* e a revista *Genética na escola*, da Sociedade Brasileira de Genética, que traz semestralmente artigos propondo interessantes metodologias e jogos (ambos disponíveis na internet).

Além disso, recomendamos que os alunos sejam orientados na leitura do livro didático, levando-os a desenvolver autonomia para estudar. Além do texto principal, mostre a eles a importância das informações trazidas em quadros complementares, legendas de imagens e até no enunciado de atividades.

Nesta coleção, as leituras complementares, os quadros laterais, as imagens e suas legendas possuem integração com o corpo principal do texto. Nos capítulos de Genética, a ligação é muitas vezes explícita. Veja como exemplo o texto da página 134 deste capítulo; em um trecho, há uma referência a um quadro lateral: “Faça a atividade ao lado, proposta em *Pense e responda*. Ao resolver a atividade proposta ao lado, você considerou possíveis as duas opções?”.

No Manual, ao longo dos capítulos desta unidade, alguns aprofundamentos a respeito da história da Genética são oferecidos, como ponto de partida para o preparo de aulas mais contextualizadas do ponto de vista histórico.

Fontes:

KOVALESKI, A. B.; ARAÚJO, M. C. P. A história da ciência e a bioética no ensino de genética. *Genética na escola*, v. 8, n. 2, 2013, p. 154-167.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE GENÉTICA. *Genética na escola*. Disponível em: <<http://www.geneticanaescola.com.br/>>. Acesso em: 02 maio 2016

## Sugestões de atividades complementares

### Página 141

#### Construindo o heredograma da família

Esta atividade foi desenvolvida pelos pesquisadores Vestena, Loreto e Sepel (2013), segundo referência a seguir. No 2º ano do Ensino Médio, as aulas de Genética foram acompanhadas do desafio, para

cada aluno, de construir um heredograma de sua família contendo quatro gerações, ou seja, partindo dos bisavós. A atividade foi realizada no município de Nova Palma, RS, onde há um Centro de Pesquisas Genealógicas, consultado pelos alunos. Verificou-se grande motivação por parte dos estudantes e possibilidades de atividades interdisciplinares, envolvendo o estudo da história e da demografia da região, entre outras questões.

Vamos apresentar as principais etapas para esta interessante atividade. Você pode optar previamente por solicitar a pesquisa familiar até a terceira ou a quarta geração. Ao início, três questões devem ser expostas aos alunos:

- › Como seria um heredograma de sua família, contendo 3 ou 4 gerações?
- › Como foram e como são os arranjos familiares, no passado e no presente?
- › Como a sua família foi influenciada por transformações sociais, culturais e tecnológicas?

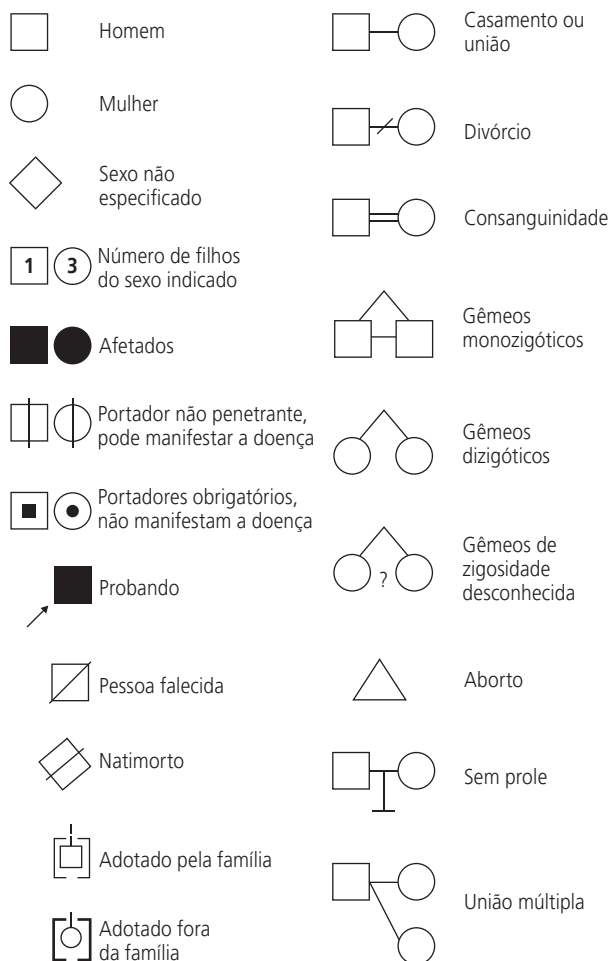
Com esses objetivos em mente, os alunos devem, ao longo das aulas:

- › perceber que o heredograma é uma representação gráfica específica de uma genealogia, ou árvore genealógica;
- › descobrir como se monta um heredograma e quais são os símbolos utilizados;
- › como são as relações de parentesco em sua família, até a geração definida;
- › representar a genealogia da família na forma de um heredograma, usando papel A3, cartolina ou papel almaço.

Após a elaboração dos heredogramas, os alunos que desejarem podem fazer uma apresentação aos colegas. É importante, na orientação da atividade e durante as apresentações, manter o respeito às questões éticas, morais e pessoais envolvidas.

Em seguida, os alunos devem analisar as mudanças nos arranjos familiares. Os pesquisadores relataram, por exemplo, a evidente queda no número de filhos por geração, observada nas famílias de Nova Palma. A busca por hipóteses que expliquem essas mudanças pode ser uma atividade em conjunto com a disciplina de Geografia.

Veja a seguir uma lista completa de símbolos usados em heredogramas:



Fonte:

VESTENA, R. F.; LORETO, E. L. S.; SEPEL, L. M. N. Heredogramas dos estudantes: das anágrafes paroquiais para a escola. *Genética na escola* v. 8, n. 2, 2013, p. 114 a 123.

## Página 144

### Doenças genéticas heterogêneas: o caso da surdez

Sugerimos um estudo de caso, por meio de leitura e interpretação de texto. Elaboramos como exemplo um texto a respeito de doenças genéticas heterogêneas, tema não abordado no capítulo. O intuito é que os alunos utilizem os conceitos de Genética que aprenderam para compreender o texto. Essa leitura oferece também a oportunidade de perceber que nem todas as características são herdadas de acordo com a Primeira Lei de Mendel.

Como estratégia de leitura, os alunos podem se reunir em pequenos grupos. Devem, após a leitura, formular 3 ou 4 questões sobre aspectos que julgam importantes ou sobre dúvidas levantadas. As equipes devem, então, trocar suas listas de questões, ou seja, um grupo vai responder às questões formuladas por outro grupo. Em seguida, recebem as respostas às suas questões.



Os alunos podem consultar livros e sites de divulgação científica para responder às questões. Promova um momento de conclusão da atividade, sanando possíveis dúvidas.

### Qual é a causa da surdez?

Doenças genéticas heterogêneas são aquelas que exibem fenótipos muito semelhantes, porém são condicionadas por mecanismos genéticos diferentes. Podem ser resultado da interação de genes distintos ou de alelos distintos de um mesmo gene.

A surdez congênita é um exemplo de doença genética heterogênea. Existem muitos genes envolvidos nos casos de surdez por herança genética – pelo menos 14 já foram mapeados. A maioria desses casos está relacionada a uma mutação no gene “conexina 26”, localizado no cromossomo 13. A mutação mais frequente, ocorrendo em 70% dos casos, corresponde à deleção de apenas uma base nitrogenada, o que afeta a síntese de uma proteína, a conexina, codificada por esse gene e envolvida no processo de audição. Sabe-se que o simples aparecimento da mutação no gene conexina 26 não deixa a criança surda: é preciso que ambos os pais tenham a mutação e a transmitam aos filhos.

É importante ressaltar que existem formas de surdez determinadas inteiramente por fatores ambientais, mesmo quando congênitas. A infecção da gestante por micro-organismos, como os causadores de rubéola, toxoplasmose ou sífilis, pode levar à perda auditiva do feto. Exposição materna ao raio X, traumas no parto e infecções no recém-nascido (como meningite, sarampo e caxumba) também podem ser responsáveis por casos de surdez não hereditária.

De cada 1000 crianças, uma nasce com problemas de surdez e pesquisas indicam que, no mundo, cerca de 60% dos casos são causados por herança genética. No Brasil, a maioria dos casos não é relacionada a causas genéticas, mas estima-se que a melhoria dos programas de saúde materno-infantil faça a proporção desses casos aumentar progressivamente. Nos casos de surdez de origem genética, como os relacionados à mutação no gene “conexina 26”, a criança geralmente não tem problemas de formação no órgão auditivo nem comprometimento neurológico. Dessa forma, o tratamento é possível, sendo o mais indicado um implante de cóclea. O período ideal para o implante ocorre quando a criança tem por volta de um ano e meio; nessa fase, ela tem mais oportunidades de aproveitar os estímulos cerebrais ligados à fala. O maior desafio é identificar a causa da surdez antes desse período considerado ideal, para então providenciar sua correção. Atualmente, a surdez não é constatada antes de a criança completar 2 anos.

Um teste simples, proposto por pesquisadores da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp-SP), pode mudar essa situação. O teste, que custa o equivalente a US\$ 5, é feito a partir de uma pequena amostra de sangue e indica se o recém-nascido tem o problema genético mais comum relacionado com a surdez, a mutação no gene conexina 26.

O resultado sai em algumas horas. Se o resultado for positivo, é possível calcular a probabilidade do aparecimento de casos de surdez na família.

Saiba mais:

SARTORATO, E. L. A genética da surdez. *Pesquisa Fapesp* n. 50, jan.-fev. 2000, p. 26-28. Disponível em: <<http://revistapesquisa.fapesp.br/2000/02/01/a-genetica-da-surdez/>>. Acesso em: 16 abr. 2016.

Seguem sugestões de questões para interpretação do texto:

- Qual é a resposta à pergunta do título: qual é a causa da surdez?

A surdez pode ter causa genética e hereditária ou pode ter causas ambientais, sendo congênita, mas não hereditária.

- Os casos de surdez de causa genética podem ser previstos pela Primeira Lei de Mendel?

Nos casos de surdez determinados pela herança de uma mutação nos alelos do gene conexina 26, é possível fazer essa previsão, pois se trata de condição condicionada por um loco gênico (monohibridismo). No entanto, nem todos os casos de surdez por origem genética possuem essa causa; já foram identificados mais de 14 genes envolvidos. Desse modo, não se trata de um caso simples de herança, que segue a Primeira Lei de Mendel.

- Explique a afirmação: “No Brasil, a maioria dos casos não é relacionada a causas genéticas, mas estima-se que a melhoria dos programas de saúde materno-infantil faça a proporção desses casos aumentar progressivamente”.

Com a promoção da saúde da gestante e dos bebês, os casos de surdez causados por infecções e outras causas ambientais podem ser evitados e reduzidos. Desse modo, aumentará a frequência dos casos de surdez que são inevitáveis, de causa genética e hereditária.

- Que tipo de cuidados devem ser tomados no pré-natal para evitar a surdez do bebê por causas ambientais?

Esta é uma questão que mostra a relação entre os conhecimentos médicos e científicos e a melhoria das condições de vida das pessoas. As mulheres devem ser orientadas a se vacinar contra a rubéola se desejam engravidar, além de verificar a existência de outras doenças infecciosas, como a sífilis, que pode ficar durante anos assintomática. Na gestação, o pré-natal deve ser feito desde o início, para promover a saúde da mãe e a do feto.

## Temas abordados: comentários e aprofundamentos

Página 145



### ATIVIDADE PRÁTICA

## Como se verifica a frequência de um fenótipo na população?

### Interpretando os resultados

a. Cada equipe deverá pesquisar sobre as duas características humanas propostas pela atividade: forma do lobo da orelha externa (pavilhão auricular) e capacidade de enrolar a língua. Com isso, todos terão conhecimentos sobre as características analisadas na amostra (a turma ou a escola).

A respeito da pesquisa, oriente as equipes a solicitar permissão prévia das pessoas para participarem da atividade. É essencial que você explicita esse cuidado com os alunos, a fim de que se estimulem posturas éticas e cuidadosas com a dignidade humana.

b. As equipes devem organizar tabelas e gráficos mostrando as frequências de cada variação do caráter, obtidas dentro da amostra populacional.

Estimule as equipes a perceber que os resultados dizem respeito a uma pequena amostra, formada por pessoas da comunidade escolar, o que não se compara com trabalhos científicos nos quais se analisam frequências de genes em populações naturais, por exemplo.

Para o cálculo das frequências, divide-se o número de pessoas que apresentam a característica pelo total de pessoas consultadas; o mesmo vale para o número de pessoas que não apresentam a característica.

c. Considera-se, tradicionalmente, que a determinação da forma do lobo auricular e a capacidade de enrolar a língua são características determinadas, cada uma, por um loco gênico, não estando vinculadas ao mesmo par de cromossomos homólogos e sendo casos de herança explicados pela Primeira Lei de Mendel.

Recentemente, essas informações tradicionais foram questionadas, verificando-se que não existem dados corroborando que cada característica seja determinada por apenas um par de alelos.

Em relação ao formato do pavilhão auricular e seu lobo, há evidências indicando que se trata de característica condicionada por diversos genes, não sendo sempre possível prever padrões de herança.

O mesmo foi observado em relação à capacidade de enrolar a língua. Um estudo mostrou que,

entre gêmeos idênticos, 70% deles compartilham uma variação do caráter, mas 30% são diferentes quanto à capacidade natural de enrolar a língua.

Apesar de tais resultados, ainda é possível, dentro de certos limites, considerar as duas características como casos de monoidrismo, por simplificação, pois o resultado fenotípico é descontínuo (duas variações), com relação de dominância completa.

Existem outras características morfológicas do ser humano tradicionalmente relacionadas à herança segundo a Primeira Lei da Mendel:

- covinhas na bochecha: a presença deste caráter seria condicionada por alelo dominante;
- sardas: a presença deste caráter seria condicionada por alelo dominante;
- linha de implantação do cabelo na testa reta ou com bico de viúva: a presença de bico de viúva seria condicionada por alelo dominante;
- sensibilidade gustativa ao PTC: existem fitas contendo a substância PTC, geralmente disponíveis em fornecedores de materiais para laboratório. Quando a fita é delicadamente encostada na região central da língua, pessoas sensíveis ao PTC sentem um gosto amargo, enquanto outras não sentem gosto algum.

Fonte (em inglês):

Genetic Science Learning Center. Observable human characteristics. *Learning Genetics*. 22 jun. 2014. Disponível em: <<http://learn.genetics.utah.edu/content/inheritance/observable/>>. Acesso em: 16 abr. 2016.

### Indo além

As frequências dos genótipos *aa* e *bb* correspondem, respectivamente, à frequência dos indivíduos que apresentam lobo do pavilhão auricular aderente e incapacidade de enrolar a língua para cima. Esses indivíduos certamente são puros para o caráter, possuindo dois alelos com a informação recessiva.

## Respostas às atividades

### Revendo e aplicando conceitos

4. Acompanhe o quadro de Punnett:

$VB \times VB$

Gametas	V	B
V	VV (vermelha)	VB (rósea)
B	VB (rósea)	BB (branca)

Espera-se que 25% dos descendentes produzam flores vermelhas, 50% produzam flores róseas e 25% produzam flores brancas.

**5. b)** Fenótipo preto – genótipo  $PP$

Fenótipo branco – genótipo  $BB$

Fenótipo andaluz – genótipo  $PB$

Cruzamento:  $PP \times PB$

Gametas	$P$	$B$
$P$	$PP$ (preto)	$PB$ (andaluz)

A probabilidade de surgir um descendente de penas brancas desse cruzamento é nula.

**6.** O alelo dominante é letal quando em dose dupla; indivíduos homozigotos dominantes ( $AA$ ) morrem antes do nascimento. Assim, um casal heterozigótico ( $Aa \times Aa$ ) poderá gerar filhos:

Gametas	$A$	$a$
$A$	$AA$ (morre antes do nascimento)	$Aa$ (acondroplasia)
$a$	$Aa$ (acondroplasia)	$aa$ (normal)

Não podemos contar os indivíduos  $AA$  como parte da descendência, pois morrem antes do nascimento. Assim, o casal heterozigótico apresenta três possibilidades para seus descendentes: duas de nascerem crianças com acondroplasia e uma de nascerem crianças sem essa anomalia.

**9. b)** Os indivíduos 5, 6, 8 e 9 são, com certeza, heterozigóticos, pois geraram filhos com o fenótipo recessivo, apesar de não manifestarem esse caráter. Esse caso é semelhante ao das observações de Mendel com as ervilhas: duas plantas com sementes lisas eram capazes de gerar, após a fecundação, plantas com sementes rugosas, indicando que o caráter liso era determinado pelo genótipo heterozigoto.

## Trabalhando com gráficos

**11. a)** A produtividade da planta está relacionada ao seu genótipo, pois, mesmo quando variedades de diferentes altitudes foram cultivadas sob as mesmas condições ambientais, houve variação na produtividade.

## Ciência, Tecnologia e Sociedade

**12. a)** A fibrose cística é uma condição autossômica recessiva, ou seja, determinada pela herança de dois alelos recessivos. Geralmente, crianças com fibrose cística nascem de pais heterozigóticos para o alelo mutante, localizado no par de cromossomos nº 7. A fibrose cística é uma doença crônica que afeta, principalmente, os pulmões e os órgãos do sistema digestório, devido à produção de muco com maior viscosidade, capaz de bloquear as vias respiratórias e dificultar a ação das enzimas digestivas.

**12. c)** As substâncias presentes nas drogas podem alterar as características fenotípicas dos indivíduos. Estudos científicos apontam que as drogas estão associadas ao aparecimento de mutações no DNA. Com base nessas informações, o contato da mulher com drogas durante a gestação oferece muitos riscos à própria saúde e à do feto. O tabagismo, por exemplo, está associado ao nascimento de prematuros, com baixo peso; determinadas substâncias podem causar malformações. O acompanhamento médico pré-natal precisa ser reconhecido como processo de extrema importância para garantir condições favoráveis à vida da mulher e de seu(s) filho(s). Ressalte aos alunos que conhecer o próprio estado de saúde é uma condição para a qualidade de vida. Hábitos saudáveis, como dieta balanceada, exercícios físicos regulares e bem orientados, assim como manutenção de uma mente equilibrada, são ações que merecem também ser discutidas com os alunos.

## Questões do Enem e de vestibulares

**14.** Vamos chamar de  $a$  o alelo que determina a fibrose cística. Pessoas sem a doença apresentam genótipo  $AA$  ou  $Aa$ . A mulher é normal e tem um irmão afetado; a probabilidade de que ela seja heterozigótica é de  $2/3$ .

A probabilidade de um casal heterozigótico ter uma criança homozigótica recessiva é igual a  $1/4$ .

Logo, a probabilidade de esse casal ter uma criança com fibrose cística é:

$$(2/3) \times (1/4) = 2/12 = 1/6.$$

**17. b)** 50%. No cruzamento de  $RL \times RL$ , serão gerados 25% de  $RR$ , 50% de  $RL$  e 25% de  $LL$ . Portanto, a probabilidade de receber uma planta com raiz ovelada é de 50%.



## CAPÍTULO 7

### Polialelia

#### Comentários gerais

No capítulo anterior discutimos casos de herança que envolvem um par de alelos, considerando que para cada loco gênico existem apenas dois alelos. Neste capítulo são abordados os casos de herança em que, para cada loco gênico, existem mais de dois alelos, lembrando sempre que no indivíduo diploide apenas dois desses alelos estão presentes. Os alelos múltiplos podem ter diferentes relações de dominância entre si, o que determina ampla diversidade de fenótipos. Eles podem ser codominantes, ter relação de dominância completa ou incompleta.

Este capítulo traz também a herança do grupo sanguíneo do sistema ABO e a compatibilidade na transfusão de sangue. Ao longo do capítulo e nas atividades, torna-se evidente a importância da doação de sangue, um procedimento seguro para o doador, para salvar a vida de pessoas que necessitam repor o sangue perdido devido a um acidente, uma cirurgia ou uma doença. A doação de sangue e de órgãos é estimulada pelo Ministério da Saúde e este tema precisa estar presente na escola, para que os alunos conheçam a base científica da transfusão e sua importância social.

#### Sugestões de atividades complementares

##### Página 154

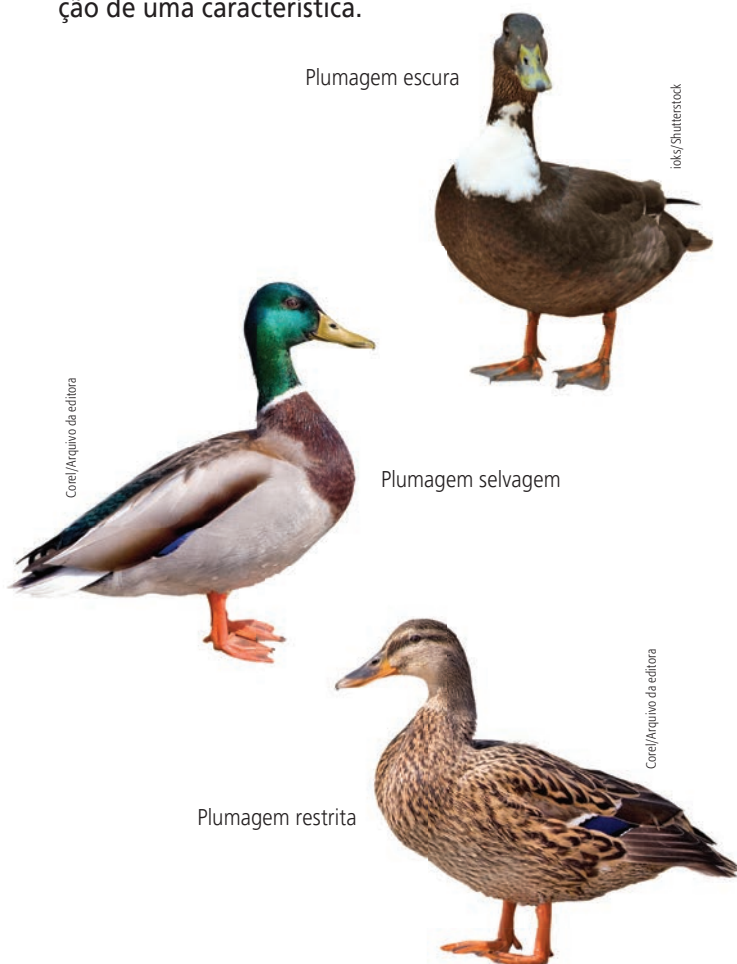
#### Exercício: a herança do padrão de plumagem em patos selvagens

Além dos exemplos dados no texto, sugerimos outro caso de polialelia – a herança do padrão da plumagem em patos selvagens –, que possibilita avaliar o quanto os alunos compreenderam a respeito desse padrão de herança.

Um alelo dominante, que vamos chamar  $M$ , determina o padrão selvagem, em que há penas de cor esverdeada iridescente na cabeça, coloração marrom no peito e acinzentada no restante do corpo, sendo as asas em tons de cinza-escuro. Um segundo alelo,  $M_r$ , produz um padrão chamado restrito, em que as penas têm padrão de coloração em tons de marrom malhado praticamente no corpo todo. Um terceiro alelo,  $m_d$ , condiciona o padrão escuro, em que as penas são pretas em quase todo o corpo, com exceção do ventre, onde são claras.

Entre esses três alelos, o que determina padrão restrito é dominante sobre o que determina padrão selvagem e escuro, e o que determina padrão selvagem é dominante em relação ao que determina padrão escuro:  $M_r > M > m_d$ .

Os seis genótipos possíveis determinam, portanto, apenas três fenótipos. Esse é mais um exemplo de polialelia, envolvendo três alelos na determinação de uma característica.



▲ Diferentes padrões de plumagem no pato da espécie *Anas platyrhynchos*.

Em pequenos grupos, os alunos podem prever o resultado de diferentes cruzamentos, por exemplo: a prole de um casal de patos com plumagem selvagem.

Em seguida, os alunos podem simular a herança desse caráter – cor da plumagem em patos selvagens – representando o macho e a fêmea de um cruzamento por um par de cromossomos homólogos. Os cromossomos podem ser representados por bastões feitos com massa de modelar, ou com fios grossos de lã.

Em cada cromossomo do par deve ser indicado o loco gênico e o alelo que o ocupa, de acordo com o genótipo do pato.

Com essa simulação, usando representações concretas, os alunos poderão verificar o que aprenderam e sanar possíveis dúvidas. É comum que os casos de herança genética sejam tratados como meros exercícios de cálculo de probabilidades; esta atividade permite esclarecer a relação entre o modelo matemático que explica a herança e o fenômeno biológico da reprodução sexuada (pela formação de gametas e fecundação).

## Temas abordados: comentários e aprofundamentos

### Página 153

#### Pigmentação nos vertebrados

A cor da pele, dos cabelos e dos olhos dos animais é determinada, principalmente, pelo pigmento melanina, molécula derivada do aminoácido tirosina. A síntese de melanina ocorre em células epidérmicas chamadas melanócitos, sendo então transferida para células adjacentes, como os queratinócitos, dando cor à pele, e as células do folículo piloso, dando cor ao pelo.

Os melanócitos produzem dois tipos de melanina: a eumelanina, de coloração marrom ou preta, e a feomelanina, de cor amarelada ou vermelha. O balanço entre a quantidade de cada um desses tipos de melanina é responsável pela variação de cor no corpo de vertebrados, de peixes a mamíferos, incluindo os seres humanos. O controle da síntese das melaninas envolve vários genes.

A síntese desses pigmentos é feita por uma via metabólica que ocorre com poucas variações entre os grupos de vertebrados, sendo esta uma evidência importante para estudos em evolução.

Saiba mais:

CORSO, J.; HEPP, D. O gene MC1R e a pigmentação dos animais. *Genética na escola*, v. 8, n. 2, 2013, p. 194-201.

### Página 154

#### Coelhos himalaia

A variedade himalaia é uma das mais antigas entre os coelhos domesticados pelo ser humano. Sua pelagem branca pode apresentar manchas pretas características, localizadas nos pés, no rabo, na região do focinho e nas orelhas. Essas marcas surgem, portanto, nas extremidades do corpo, que são as regiões de menor temperatura corporal. Sob temperaturas ambientais baixas, as manchas se tornam maiores.

Existem variedades obtidas em épocas mais recentes, nas quais as manchas são marrons ou acinzentadas.

## Respostas às atividades

### Revedo e aplicando conceitos

3. A aglutinação das hemácias na presença de anti-corpo anti-A mostra que existe a proteína A no sangue dessa pessoa, e a aglutinação em presença de anti-Rh indica que existe fator Rh em suas hemácias. A reação de aglutinação só ocorre quando o antígeno reage com seu anticorpo específico.

4. São 6 genótipos possíveis:  $HH$ ,  $HI$ ,  $II$ ,  $Hi$ ,  $Ii$ ,  $ii$ . O número de fenótipos é igual a 4. Os genótipos  $HH$  e  $Hi$  correspondem ao mesmo fenótipo. Outro fenótipo corresponde aos genótipos  $II$  e  $Ii$ . Como  $H$  e  $I$  são co-dominantes, o genótipo  $HI$  corresponde a um terceiro fenótipo. O quarto fenótipo é condicionado por  $ii$ .

7. Indivíduos:

$$1 = I^A I^B$$

$$2 = ii$$

$$3 = I^B I^B \text{ ou } I^B i$$

$$4 = I^A i$$

$$5 = I^B i$$

$$6 = ii$$

$$7 = I^A i$$

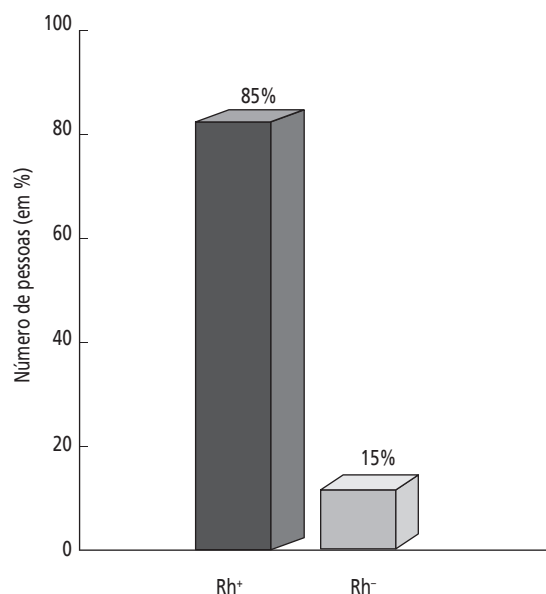
$$8 = ii$$

$$9 = I^A I^B$$

$$10 = I^B i$$

### Trabalhando com gráficos

8. O aluno deve fazer um gráfico de barras com alturas proporcionais: 85% e 15%. Modelo:



Equipe NATH/Arquivo de editora

## Questões do Enem e de vestibulares

11. a) Sim. Os cruzamentos que podem produzir descendência amarela ( $G^2G^2$ ) são:

entre peixes verdes heterozigóticos ( $G^2$ );

entre peixes laranjas heterozigóticos ( $G^1G^2$ );

entre peixes verdes e laranjas ( $G^2 \times G^1G^2$ ).

12. A criança de sangue O possui genótipo  $ii$  e herdou um alelo  $i$  do pai e outro da mãe (genótipo:  $I^Ai$ ). O pai pode ser do tipo sanguíneo O ( $ii$ ) ou B ( $I^Bi$ ).

13. c) Não existe possibilidade de serem geradas plantas com fruto amarelas a partir do cruzamento citado. Observe o quadro:

$$V^iV^r \times V^rV^r$$

Gametas	$V^r$
$V^i$	$V^iV^r$
$V^r$	$V^rV^r$

15. a) A mulher, sendo do grupo sanguíneo A, poderia ter genótipo  $I^AI^A$  ou  $I^Ai$ . Chaplin, sendo do grupo sanguíneo O, possuía genótipo  $ii$  e só poderia formar gametas portadores do alelo  $i$ . Portanto, de quem a criança teria herdado o alelo  $I^B$ ? Esse alelo só poderia ter vindo do pai, que certamente não era Charles Chaplin.

## CAPÍTULO 8

### Segunda Lei de Mendel

#### Comentários gerais

Uma vez discutidos os mecanismos de herança envolvendo um loco gênico para o qual existem dois ou mais alelos possíveis, passamos ao estudo dos mecanismos de herança que envolvem dois ou mais locos gênicos, podendo haver para cada loco dois ou mais alelos possíveis. A Segunda Lei de Mendel se aplica aos casos em que os locos gênicos estão em cromossomos distintos, não homólogos. Caso os dois ou mais locos gênicos considerados estejam no mesmo par de cromossomos homólogos, não há transmissão independente das características, tratando-se de genes ligados, assunto a ser estudado no capítulo 9.

O texto do capítulo propõe um diálogo com o aluno, pela descrição de raciocínios lógicos e matemáticos relacionados à herança de acordo com a Segunda Lei de Mendel. Desse modo, os alunos poderão compreender a relação entre herança genética e as leis da probabilidade – e, mais amplamente, compreender como a Matemática é uma ferramenta fundamental na Ciência, inclusive na Biologia.

Nesse sentido, é interessante a leitura do texto “A importância da análise estatística nas pesquisas científicas”, na seção *Vamos criticar o que estudamos?*, ao final do capítulo.

## Sugestões de atividades complementares

### Página 172

#### Pesquisa sobre seleção artificial de fenótipos

Em duplas, os alunos deverão pesquisar exemplos de seleção artificial de fenótipos na história da agricultura ou da domesticação de animais. Exemplos: trigo, morango, tomate, cães, cavalos, gatos e gado. Os alunos podem encontrar informações sobre:

- ▶ como são (ou eram) os fenótipos originais (selvagens);
- ▶ objetivos do processo de seleção artificial;
- ▶ características selecionadas e presentes nas linhagens atuais;
- ▶ curiosidades relacionadas à genética da espécie.

As fontes consultadas (enciclopédias, livros, revistas e sites de divulgação científica) devem ser citadas ao final dos relatórios.

## Temas abordados: comentários e aprofundamentos

### Página 171

#### Vamos criticar o que estudamos

#### A validade da Segunda Lei de Mendel

O objetivo deste texto é esclarecer a condição básica para a herança genética estar de acordo com as leis de Mendel: a segregação independente dos alelos. Isso significa que, nos casos de Segunda Lei de Mendel, os pares de alelos estão localizados em diferentes pares de cromossomos homólogos.

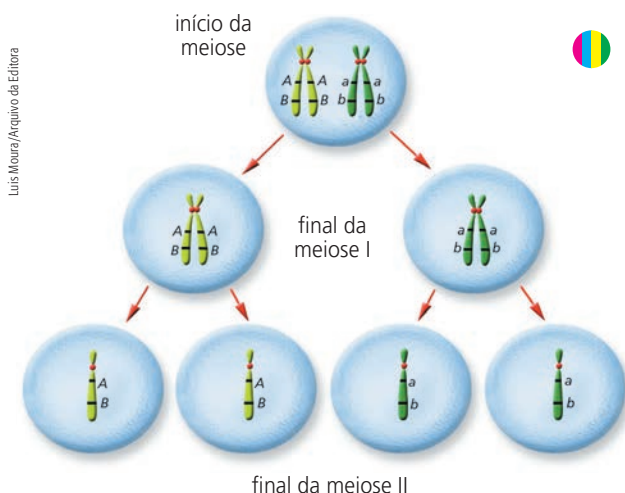
Para complementar o texto, há um esquema representando a segregação independente, na meiose, de dois pares de alelos localizados em diferentes pares de cromossomos homólogos. No exemplo ilustrado, ao final da meiose I, temos duas células, com os seguintes genótipos:  $AABB$  e  $aabb$ . Assim, formam-se dois tipos de gametas quanto ao genótipo ao final da meiose:  $AB$  e  $ab$ .

No entanto, a disjunção dos cromossomos na divisão celular é processo aleatório. Poderiam ser formadas, ao final da meiose I, células com os seguintes



genótipos:  $AAbb$  e  $aaBB$ . Assim, ao final da meiose seriam formados dois tipos de gametas:  $Ab$  e  $aB$ .

Veja agora um modelo do esquema mostrando como seriam os genótipos dos gametas formados se os pares de alelos  $A/a$  e  $B/b$  estivessem localizados no mesmo par de cromossomos. A ligação gênica é tema do próximo capítulo.



Páginas 172 e 173

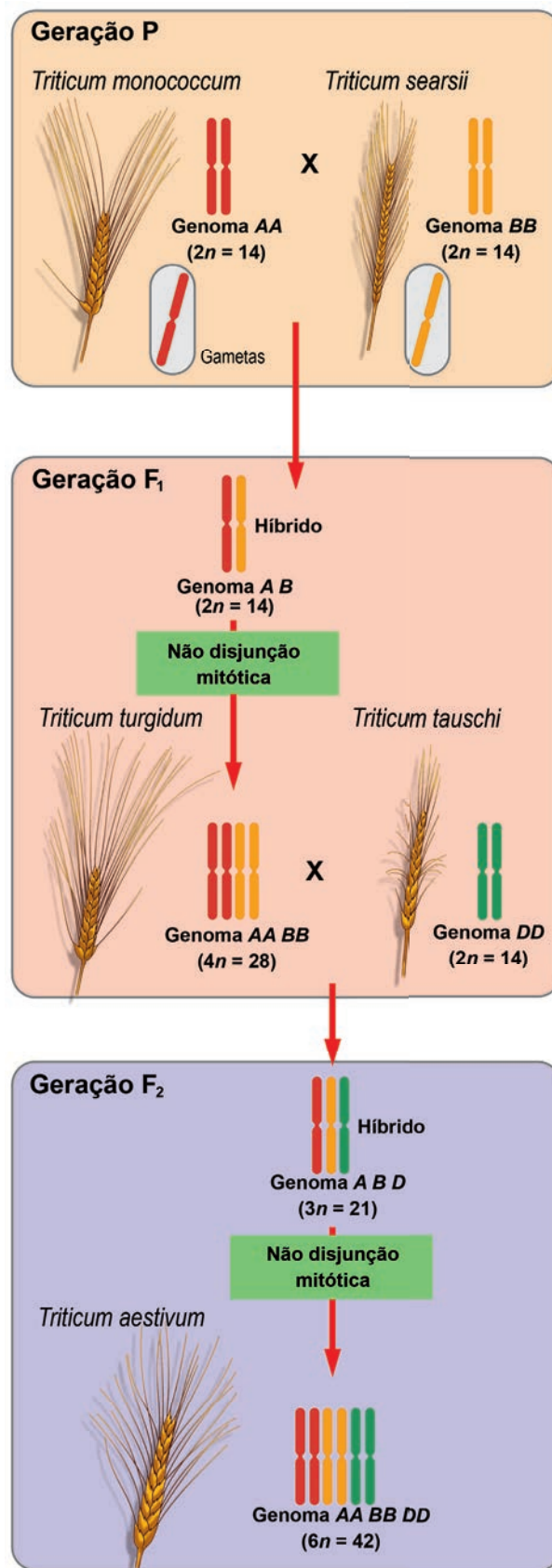
## Leitura

### As leis da Genética e a economia humana

a) O trigo é a planta mais cultivada no mundo, seguido do arroz e do milho. As evidências mais antigas da utilização de trigo pelo ser humano foram datadas em 19 000 anos, na região onde hoje é Israel, possivelmente na época em que se formavam os primeiros assentamentos humanos que levaram ao desenvolvimento da agricultura. Essas evidências antigas são da espécie *Triticum dicoccoides*, que é tetraploide.

O trigo e a cevada foram as mais antigas plantas a serem domesticadas, a partir de 10 000 anos atrás. Os cuidados com as plantas de trigo provavelmente reforçaram a fixação de povoados humanos no local de cultivo. Sua elevada produtividade era capaz de abastecer a população crescente e, portanto, especialistas condicionam o desenvolvimento da humanidade à domesticação do trigo e outras plantas.

A variedade atualmente mais cultivada pertence à espécie *Triticum aestivum*, que é hexaploide. Ao contrário das variedades selvagens, as espécies modernas produzem maior quantidade de frutos e não liberam seus grãos, que são retirados pelas pessoas. Veja no esquema a seguir a formação de *T. aestivum*, em seu processo de domesticação.



As figuras estão representadas em diferentes escalas.



Fonte: PIERCE, B. *Genetics – a conceptual approach*. 4. ed. New York: W. H. Freeman, 2010, p. 261.

## Respostas às atividades

### Revendo e aplicando conceitos

4. **b)** O genótipo de um periquito amarelo pode ser  $BBcc$  ou  $Bbcc$ . Como esse casal de periquitos amarelos originou um periquito branco, o genótipo do casal é:  $Bbcc \times Bbcc$ .

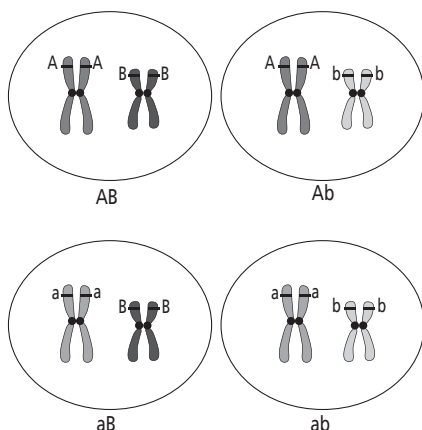
Geração P:  $Bbcc \times Bbcc$

Gametas	$Bc$	$bc$
$Bc$	$BBcc$ (Amarelo)	$Bbcc$ (Amarelo)
$bc$	$Bbcc$ (Amarelo)	$bbcc$ (Branco)

A probabilidade de que o casal gere um periquito branco é de 1/4 (25%). Não importa a prole anterior; cada nova geração é um evento independente.

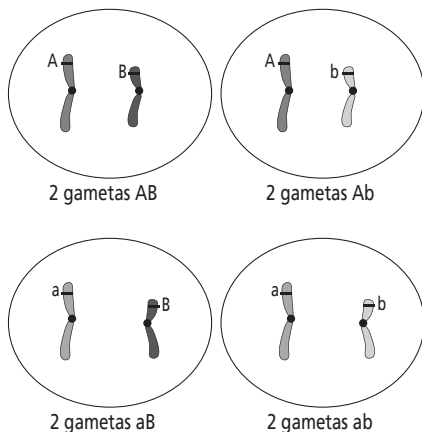
6. **a)** Da célula hipotética representada no enunciado, serão formadas duas células-filhas ao final da meiose I. Elas poderão apresentar um dos seguintes genótipos:

Maps World/Arquivo da Editora



6. **b)** Da célula hipotética representada no enunciado, serão formadas quatro células-filhas ao final da meiose II. São oito as possibilidades genotípicas para essas células:

Maps World/Arquivo da Editora



7. Justificativa: como os indivíduos 1 e 2 são do grupo O, podemos concluir que o indivíduo 5 também é O ( $ii$ ). Já o indivíduo 6 pode ser A ou B ( $I^A i$  ou  $I^B i$ ), pois seu pai possui os alelos  $ii$  e sua mãe possui os alelos  $I^A$  e  $I^B$ .

O(a) filho(a) do casal 5-6 terá 50% de possibilidade de ser do grupo O, conforme mostra o quadro abaixo:

Gametas	$I^A$	$i$
$i$	$I^A i$	$ii$

O mesmo seria válido se o indivíduo 6 tivesse genótipo  $I^B i$ .

Considerando os alelos para visão normal/miopia, podemos concluir que o caráter miopia é recessivo; observe que um casal de visão normal ( $1 \times 2$ ) teve uma filha (5) míope. Assim, o genótipo para miopia de 5 é  $mm$ . O indivíduo 6 possui os alelos  $Mm$ , pois sua visão é normal ( $M$ ), porém sua mãe é míope e só pode ter formado gametas com o alelo  $m$ . Assim:

$mm \times Mm$		
Gametas	$M$	$m$
$m$	$Mm$	$Mm$

Para resolver o problema, devemos obter o produto das duas probabilidades:

$$P(O \text{ e míope}) = P(O) \times P(\text{míope})$$

$$P(O \text{ e míope}) = 1/2 \times 1/2 = 1/4$$

### Trabalhando com gráficos

8. **a)** Resultado:

A Rh<sup>+</sup>: 35,7%;

A Rh<sup>-</sup>: 6,3%;

B Rh<sup>+</sup>: 6,8%;

B Rh<sup>-</sup>: 1,2%;

O Rh<sup>+</sup>: 40,8%;

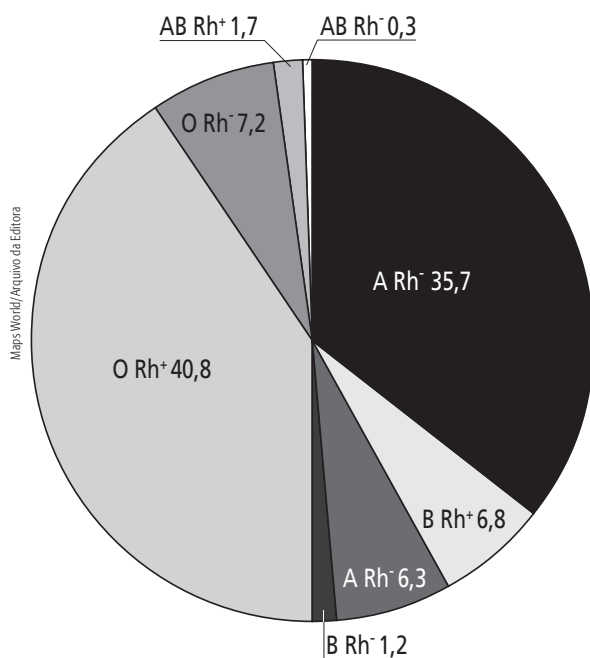
O Rh<sup>-</sup>: 7,2%;

AB Rh<sup>+</sup>: 1,7%;

AB Rh<sup>-</sup>: 0,3%.

8. b) O gráfico mais adequado é o de setores:

Ocorrência dos tipos sanguíneos na população hipotética (em %)



## Ciência, Tecnologia e Sociedade

9. Este é um tema polêmico e importante de ser refletido pelos alunos. As variedades obtidas por seleção artificial ou por manipulação gênica podem resultar em maior produtividade. No entanto, o sistema de cultivo deve ser planejado de modo a não levar ao esgotamento do solo e ao desenvolvimento de variedades de pragas cada vez mais resistentes. As monoculturas são prejudiciais à manutenção da biodiversidade, pois fragmentam ecossistemas.

Existe a possibilidade de modificar a diversidade nativa de plantas, o que pode ser evitado se as variedades desenvolvidas forem estéreis.

Outra questão importante envolve a distribuição social da tecnologia de sementes geneticamente modificadas, o sistema agropecuário e a distribuição de alimentos. Apesar de existirem pesquisas interessantes visando ao aumento da produtividade agrícola, as tecnologias e os insumos necessários não são acessíveis a pequenos produtores. Verifica-se, também, que as enormes desigualdades socioeconômicas e os problemas de fome, em escala mundial, não foram, até o momento, solucionados apenas pela existência de plantas mais resistentes e produtivas.

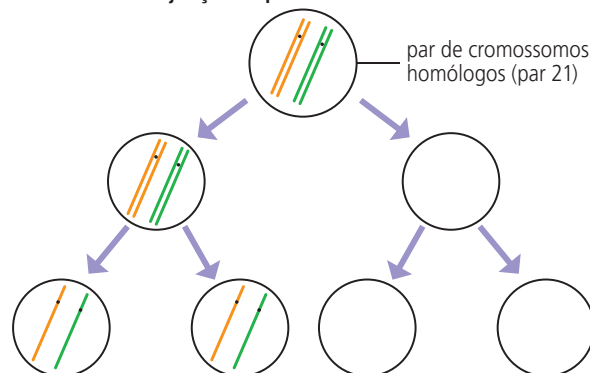
Saiba mais em:

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA – FAO. Disponível em: <<http://www.fao.org/brasil/pt/>>. Acesso em: 16 abr. 2016.

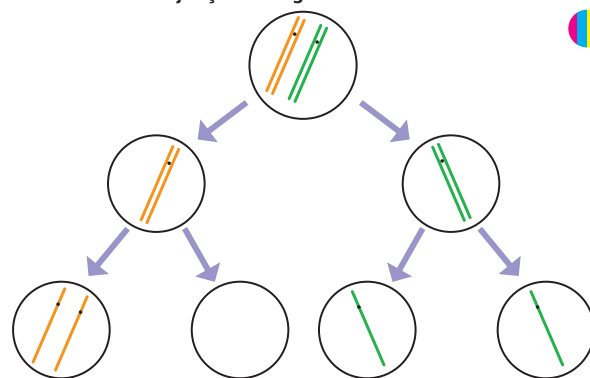
## Questões do Enem e de vestibulares

12.b)

Não disjunção na primeira divisão meiótica:



Não disjunção na segunda divisão meiótica:



13. a) A probabilidade de o criador obter um animal com pontuação máxima (AABB) é de 1/16. A probabilidade de obter um homozigótico recessivo (aabb) também é de 1/16. Veja o quadro:

Cruzamento =  $AaBb \times AaBb$

Gametas	AB	Ab	aB	ab
AB	AABB	AABb	AaBB	AaBb
Ab	AABb	AAbb	AaBb	Aabb
aB	AaBB	AaBb	aaBB	aaBb
ab	AaBb	Aabb	aaBb	aabb

13. b) Os vice-campeões devem possuir três alelos dominantes em seu genótipo, somando 15 pontos. Os cães que ocuparão o penúltimo lugar devem possuir apenas um alelo dominante, recebendo 5 pontos.

16. Justificativa:

O genótipo do casal é:  $Aabbcc \times AaBbCc$

P (sexo masculino) = 1/2

P ( $aaB\_cc$ ) = 1/16

P (sexo masculino e  $aaB\_cc$ ) =  $1/2 \times 1/16 = 1/32$



**17. Justificativa:**

Asas normais:  $Nn$  ou  $NN$

Asas reduzidas:  $nn$

Corpo claro:  $Cc$  ou  $CC$

Corpo escuro:  $cc$

O cruzamento entre fêmea de asas normais e corpo claro ( $N\_C\_$ ) e macho de asas reduzidas e corpo escuro ( $nncc$ ) gerou descendentes  $nncc$ , mostrando que a fêmea deve ser heterozigótica para os dois caracteres.

Com o cruzamento  $NnCc \times nncc$ , 1/4 dos descendentes deve ter o genótipo  $nncc$ :

Gametas	$nc$
$NC$	$NnCc$
$Nc$	$Nncc$
$nC$	$nnCc$
$nc$	$nncc$

Logo, 1/4 de 380 indivíduos = 95 indivíduos com asa reduzida e corpo escuro.

**18. Justificativa:**

Gametas	$ABP$	$AbP$	$ABp$	$Abp$
$abP$	$AaBbPP$	$AabbPP$	$AaBbPp$	$AabbPp$
$abp$	$AaBbPp$	$AabbPp$	$AaBbpp$	$Aabbsp$

Uma alternativa seria aplicar a “regra do e”:

$$P(Aa) \times P(bb) \times P(pp) = 1 \times 1/2 \times 1/4 = 1/8.$$

**CAPÍTULO 9****Genética pós-Mendel****Comentários gerais**

Neste capítulo são analisados outros mecanismos de herança, não explicados pelas leis de Mendel: pleiotropia e interação gênica, ligação gênica, herança do sexo e herança ligada ao sexo. Entre os casos de interação gênica selecionamos apenas alguns, pois são muitos e não achamos necessário maiores aprofundamentos. Restringimos a análise a alguns casos em que estão envolvidos dois locos gênicos distintos, localizados em cromossomos não homólogos.

A herança quantitativa é um tipo de interação gênica e o exemplo dado é a herança da cor da pele na espécie humana. Os alunos deverão perceber que, ao contrário das características estudadas anteriormente, a cor da pele é um caráter de variações contínuas. Sugerimos que sejam abordadas questões relacionadas à concepção errônea de raças humanas, não corroborada pela análise científica do genoma.

Do mesmo modo, a herança dos sexos masculino e feminino na espécie humana podem ser o ponto de partida para uma reflexão a respeito da diferença entre sexo biológico, orientação sexual e identidade de gênero. O texto proposto na seção *Leitura* pode auxiliar nesse sentido.

**Reflexões sobre o ensino de Biologia****Página 197****Abordando o preconceito nas aulas de Biologia**

Do ponto de vista dos conteúdos em Genética, os alunos poderão conhecer padrões de hereditariedade que não se encaixam nas leis de Mendel, um indício da diversidade de vias moleculares nas células. A diversidade, ou variabilidade, é um padrão na natureza, em todos os níveis.

Aliados a esta compreensão, há temas presentes neste capítulo que permitem abordar questões consideradas polêmicas, ou até mesmo tabus, como o conceito errôneo de “raça humana”, o preconceito racial e com base na orientação sexual de uma pessoa.

A abordagem de temas polêmicos em sala de aula é tarefa do professor de Biologia no Ensino Médio? Segundo documentos oficiais, a resposta é sim, e isso é válido para todas as disciplinas. Veja este trecho do PCN+:

A intenção de completar a formação geral do estudante nessa fase [*Ensino Médio*] implica, entretanto, uma ação articulada, no interior de cada área e no conjunto das áreas. [...]

Num mundo como o atual, de tão rápidas transformações e de tão difíceis contradições, estar formado para a vida significa mais do que reproduzir dados, denominar classificações ou identificar símbolos. Significa:

- saber se informar, comunicar-se, argumentar, compreender e agir;
- enfrentar problemas de diferentes naturezas;
- participar socialmente, de forma prática e solidária;
- ser capaz de elaborar críticas ou propostas; e,
- especialmente, adquirir uma atitude de permanente aprendizado.

Uma formação com tal ambição exige métodos de aprendizado compatíveis, ou seja, condições efetivas para que os alunos possam:

- comunicar-se e argumentar;
- defrontar-se com problemas, compreendê-los e enfrentá-los;
- participar de um convívio social que lhes dê oportunidades de se realizarem como cidadãos;
- fazer escolhas e proposições;
- tomar gosto pelo conhecimento, aprender a aprender. (BRASIL, 2006, p. 9)

Como as questões mencionadas anteriormente fazem parte do cotidiano dos jovens brasileiros, devem estar presentes na escola e nas salas de aula de todas as disciplinas. Apesar de não existirem receitas prontas sobre como abordar esses temas, diversos especialistas recomendam as rodas de conversa, promovendo um ambiente de liberdade de expressão e respeito às diversas opiniões. As discussões devem estar centradas em argumentos e justificativas.

Sobre as formas de discriminação, existem livros, artigos, sites e ONGs que podem auxiliar você, professor(a), na condução de práticas pedagógicas. Um exemplo é o site do Projeto Semeiar, do Centro de Estudos do Genoma Humano e Células-tronco da Universidade de São Paulo, do qual reproduzimos um texto – *O gene gay* – na seção *Leitura*, ao final deste capítulo. Este site oferece recomendações aos professores na página “Como posso abordar esse tema com meus alunos?” (veja link nas referências).

O químico Wilmo Ernesto Francisco Jr., da Universidade Federal de Rondônia, publicou um artigo no qual defende uma educação antirracista na escola, abordando o ensino de Ciências. Além de esclarecer o conceito de raça como uma construção ideológica, e não biológica, o professor não pode ser conivente com ações de discriminação. Nesse sentido, é importante distinguir racismo, preconceito e discriminação:

O racismo, cuja origem remonta o conceito de raça do século XV, é uma construção histórica, social e cultural, fruto de um longo processo ideológico que foi se arraigando aos poucos. De acordo com o Programa Nacional de Direitos Humanos: “Racismo é uma ideologia que postula a existência de hierarquia entre os grupos humanos” (BRASIL, 1998a, p. 12).

Beato (1998, apud SANT’ANA, 2005, p. 60), conceitua o racismo como: “A teoria ou ideia de que existe uma relação de causa e efeito entre as características físicas herdadas por uma pessoa e certos traços de sua personalidade, inteligência ou cultura. E, somados a isso, a noção de que certas raças são naturalmente inferiores ou superiores a outras”. [...]

O preconceito é uma ideia que precede a própria relação. [...] Dessa forma, o preconceito torna-se um julgamento prévio, inculcado no dia a dia por meio de estigmas e estereótipos. O preconceito se expressa por

meio de valores, ideias ou pensamentos pré-moldados. Por isso, é de ordem subjetiva, residindo na consciência e afetividade dos indivíduos. [...]

A discriminação pode ser entendida como [...] a conduta (ação ou omissão) que viola direitos das pessoas com base em critérios injustificados e injustos, tais como raça, o sexo, a idade, a opção religiosa e outros. A discriminação é algo assim como a tradução prática, a exteriorização, a manifestação, a materialização do racismo, do preconceito e do estereótipo. [...]

Sem dúvida, o mito da democracia racial ainda aparece inconcusso em boa parte da sociedade brasileira. Tal ideia, desenvolvida no início do século XX, com a miscigenação do povo brasileiro, aponta que a população vive em harmonia, inexistindo atos discriminatórios. Todavia, não é isso o que revelam alguns dados. [...]

Não problematizar o racismo na escola é reproduzir a sociedade discriminatória. [...] Introduzir o tema do racismo nas aulas, porém, não é algo fácil. Primeiramente, o professor deve estar convicto de suas posições e bem fundamentado teoricamente sobre a origem do problema, suas consequências e dados estatísticos das desigualdades sociais. Nessa discussão, o diálogo horizontal deve prevalecer sempre. Ao mesmo tempo, o professor, de forma alguma, deve conceber atitudes discriminatórias, além de possuir sensibilidade para reconhecer e analisar criticamente episódios de discriminação. (FRANCISCO JR., 2008)

A partir dessas considerações, esperamos incentivar reflexões que o encorajem ao trabalho com temas como o preconceito em suas aulas. Por ser algo presente na sociedade – e, portanto, na escola – as questões relacionadas ao preconceito são mais do que interdisciplinares, ou seja, são transdisciplinares, exigindo em sua análise conhecimentos de diversas disciplinas, sentimentos e expressões. Por isso, sugerimos que as ações pedagógicas sejam realizadas em conjunto com outras disciplinas. Este capítulo oferece sugestões de atividades que podem servir de ponto de partida para este trabalho.

Em 2012, o geneticista Sérgio Pena, da Universidade Federal de Minas Gerais, e o historiador José Murilo de Carvalho, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, proferiram palestras em um mesmo encontro, com o tema do falso conceito de raça e das origens do povo brasileiro. Este é um exemplo de como uma visão interdisciplinar sobre um tema pode surgir.

Saiba mais:

BRASIL, Secretaria da Educação Básica. *PCN+ Orientações Curriculares para o Ensino Médio: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias*. Brasília, MEC, 2006.

CENTRO DE ESTUDOS DO GENOMA HUMANO E CÉLULAS-TRONCO. Disponível em: <<http://www.ib.usp.br/biologia/projetosemeiar/estanonadna/como-posso-abordar-esse-tema-com-meus-alunos.html>>. Acesso em: 16 abr. 2016.

FRANCISCO JR., W. E. Educação anti-racista: reflexões e contribuições possíveis do ensino de ciências e de alguns pensadores. *Ciência & Educação*, v. 14, n. 3. Bauru, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci-arttext&pid=S1516-73132008000300003>>. Acesso em: 16 abr. 2016.

GARCIA, M. O indivíduo, a história e a genética. *Ciência Hoje on-line*. 19 jun. 2012. Disponível em: <<http://cienciahoje.uol.com.br/instituto-ch/destaques/2012/06/o-individuo-a-historia-e-a-genetica>>. Acesso em: 16 abr. 2016.

## Sugestões de atividades complementares

### Página 182

#### Exercício: herança da cor da pelagem em labradores

Os cães da raça labrador podem ser pretos, marrons ou amarelos. Muitos genes participam da determinação da cor da pelagem. Três alelos, de genes distintos, permitem que o pigmento preto seja produzido. A maioria dos labradores é homozigótica dominante para esses alelos e possuem a capacidade de produzir o pigmento preto. Existem, no entanto, dois outros genes que interagem epistaticamente com esses alelos. Vamos chamar esses alelos epistáticos de *B* e *E*.

Os labradores pretos possuem genótipo *B\_E\_*. Nessas condições, podem expressar o pigmento preto.

Os labradores marrons possuem genótipo *bbE\_*. Os amarelos resultam da presença do par *ee* no genótipo: *B\_ee* ou *bbee*.

Em pequenos grupos, os alunos podem prever o resultado de diferentes cruzamentos: um casal de labradores, um amarelo e um preto, por exemplo.

Em seguida, os alunos podem simular a herança desse caráter – cor da pelagem em labradores – representando o macho e a fêmea de um cruzamento por meio dos pares de cromossomos homólogos. Os cromossomos podem ser representados por bastões feitos com massa de modelar, ou com fios grossos de lã.

Nos cromossomos, devem ser indicados os locos gênicos e o alelo que ocupa cada loco, de acordo com o genótipo de cada labrador.

Fonte:

PIERCE, B. *Genética: um enfoque conceitual*. 3. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2011.

## Temas abordados: comentários e aprofundamentos

### Página 183

#### Herança da cor da pele na espécie humana

Está bem definido, pelos estudos em Genética, que a cor da pele dos seres humanos é uma herança genética, e não determinada por fatores ambientais. O desafio é determinar o número de genes envolvidos, como identificá-los e como eles interagem promovendo as vias metabólicas que resultam na grande variedade de tons de pele.

Um dos estudos considerados mais completos foi realizado em Liverpool, Reino Unido, no ano de 1964, analisando 70 moradores em relação à concentração

de pigmentos na pele. Os moradores possuíam ancestrais europeus (principalmente irlandeses) ou da África Oriental. Nesse estudo ficou evidente, pela análise de mestiços (híbridos), que a pigmentação da pele possui um caráter aditivo, explicado pela herança quantitativa. Os autores da pesquisa explicaram a herança como envolvendo dois pares de alelos, de efeitos aditivos, e esta é a explicação tradicionalmente adotada hoje, no estudo de Genética no Ensino Médio.

No entanto, os resultados encontrados nessa pesquisa também poderiam ser explicados por múltiplos de 2 pares de alelos – 40 genes, por exemplo. O número exato de quantos genes estão envolvidos na herança da cor da pele em humanos ainda não está definido.

Um estudo realizado em 2003 demonstrou haver cerca de 100 locos gênicos distintos envolvidos na determinação da cor da pelagem em camundongos, animais-modelos para estudos em Genética. Muitos desses genes possuem homólogos no genoma humano.

Um ponto de partida para desvendar a herança genética da pigmentação em humanos é a análise de mutações que levam ao albinismo. Três genes – conhecidos pelas siglas *TYR*, *P* e *MATP* – já foram identificados como causas de albinismo, pois seus alelos mutantes afetam a capacidade de produção de pigmento nos melanócitos.

Além de vários genes envolvidos, a determinação genética da cor da pele parece envolver múltiplos alelos para determinados locos. O gene *MC1R*, que em sua forma ativa condiciona a produção de melanina em grande quantidade, possui grande diversidade de alelos, fato verificado quando diferentes populações africanas foram comparadas em relação a este gene. Esta variação foi maior do que a observada em outras regiões geográficas.

Em 2002, a equipe do geneticista Sérgio Pena, da UFMG, publicou um artigo na revista *Proceedings of the National Academy of Sciences* expondo os riscos de se associar cor e ancestralidade geográfica. Veja:

[...] os pesquisadores usaram marcadores genéticos autossômicos propostos em um estudo anterior. Trata-se de um conjunto de 10 genes com frequência bastante distinta na Europa e na África, que a equipe de Pena transformou estatisticamente em um 'Índice de Ancestralidade Africana' (AAI).

Para comprovar sua eficácia em separar afrodescendentes de não afrodescendentes, os pesquisadores analisaram amostras de DNA cedidas pela Universidade do Porto (Portugal) de 20 indivíduos daquele país e 20 da ilha de São Tomé (costa oeste da África). Os portugueses apresentaram valores de AAI negativos, entre -16,4 (menos africanos) e -4,9. Já os valores dos indivíduos de São Tomé ficaram entre +2,9 e +13,6. [...]



Em seguida, os cientistas analisaram 173 indivíduos de Queixadinha, comunidade rural de Minas Gerais. “Primeiro, um médico e uma enfermeira classificaram subjetivamente cada um em branco, negro e intermediário, levando em conta pigmentação da pele, cor e textura do cabelo, além da forma do nariz e dos lábios”, explica Pena. Comparados os resultados dos dois avaliadores, chegou-se a uma classificação de 30 negros, 29 brancos e 114 intermediários. Os pesquisadores analisaram amostras de DNA desses indivíduos e os classificaram em função do Índice de Ancestralidade Africana.

O grupo classificado como negro teve uma proporção significativa de ancestralidade não africana: 48%. O grupo de intermediários, com 45% de ancestralidade africana, mostrou-se mais próximo ao grupo de negros do que aos brancos – com 31% de ancestralidade africana. “Os ditos ‘brancos’ (com variação de AAI de -10 a +5) estão bem longe dos resultados das amostras de Portugal (nas quais o AAI variou entre -16,4 e -4,9)”, diz Pena.

Mas as conclusões se aplicam a todo o Brasil? A equipe analisou amostras de 49 indivíduos da região Norte, 49 do Nordeste, 50 do Sudeste e 52 do Sul. O resultado não foi diferente do de Queixadinha. “O grupo com menor AAI foi o do Sul, seguido do Norte, que tem forte presença de índios”, conta Pena. “Mas mesmo os brancos do Sul eram bem menos ‘europeus’ que os de Portugal. Embora no Brasil a aparência física seja muito valorizada, separar indivíduos pela cor não significa quase nada em termos genômicos e geográficos.” (MARTINS, 2003)

Fontes:

BARSH, G. S. What controls variation in human skin color? *PLOS Biology*. 13 out. 2003. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC212702/>>.

MARTINS, E. As aparências enganam. *Ciência Hoje on-line*. 29 jan. 2003. Disponível em: <<http://cienciahoje.uol.com.br/noticias/genetica/as-aparencias-enganam/>>.

Acessos em: 17 abr. 2016.

## Página 183



### REÚNA-SE COM OS COLEGAS

#### Raios UV e melanoma

A exposição aos raios solares, que contém radiação ultravioleta (UV), estimula a produção de melanina pelos melanócitos, localizados na região basal da epiderme. A maior quantidade de melanina protege o corpo contra os raios UV e gera o bronzeamento da pele. A melanina se acumula em outras células da pele, como os queratinócitos. O bronzeado é perdido quando a camada de queratinócitos mortos, na superfície da pele, descama.

Dentro de certos limites, a exposição ao sol é benéfica por estimular a produção de vitamina D por células da pele. Esse limite depende do tipo de pele, mas geralmente é de aproximadamente 15 minutos,

no início da manhã ou ao final da tarde. Nos outros horários, deve-se aplicar o filtro solar, que contém moléculas capazes de bloquear a radiação UV.

Apesar de a pele bronzeada ser considerada sinônimo de beleza em diversas sociedades, o bronzeamento é um processo inflamatório da pele, ativado pela radiação ultravioleta. Em médio e longo prazos, ele causa o envelhecimento precoce da pele. A exposição frequente e/ou desprotegida ao sol pode causar o câncer de pele conhecido como melanoma.

Os melanomas são crescimentos cancerosos dos melanócitos. O surgimento de células cancerosas a partir de células normais se relaciona aos oncogenes, ou genes causadores de câncer. Em diversos tipos de câncer, os oncogenes se formam a partir de proto-oncogenes, que sofrem alguma alteração (mutação) resultando em seu funcionamento anormal. A radiação ultravioleta é um fator carcinogênico, ou seja, possui a capacidade de transformar proto-oncogenes em oncogenes pela mutação no DNA de células da pele.

Saiba mais:

TORTORA, G. J.; GRABOWSKI, S. R. *Corpo humano: fundamentos de anatomia e fisiologia*. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006, p. 68; 105.

## Página 193

### Vamos criticar o que estudamos?

#### Herança do sexo nos animais – Partenogênese

No texto do livro, menciona-se o fenômeno da partenogênese que ocorre em algumas espécies de animais, pelo qual a determinação do sexo do indivíduo é feita pela ploidia do zigoto.

Fato interessante ocorreu em abril de 2004: cientistas japoneses e coreanos anunciaram a obtenção de um mamífero, a pequena fêmea de um camundongo, por meio de uma técnica que simula a partenogênese pela estimulação de um óvulo não fecundado. O fato surpreendeu o mundo científico, pois a partenogênese é um fenômeno natural apenas para certas espécies de animais. O óvulo transforma-se em zigoto apenas após a união de seu material genético com os cromossomos masculinos. Os mecanismos da fecundação dependem de certos genes, dos quais alguns estão ativos apenas nos espermatozoides e outros apenas nos óvulos.

Os cientistas produziram óvulos modificados de camundongos, ativando neles determinados genes presentes apenas em espermatozoides. Depois, provocaram a fusão dos núcleos desses óvulos modificados com óvulos normais. Formaram-se centenas de embriões. Mais de 300 embriões foram implantados em fêmeas saudáveis de camundongos, mas apenas duas gestações chegaram ao fim e uma pequena fêmea sobreviveu.

Esse estudo, controlado por situações de laboratório e realizado com cobaias, não significa que essa técnica poderá ser aplicada em óvulos humanos. No entanto, podem ser criados mecanismos para o exame (e talvez tratamento) de doenças genéticas que têm sua origem no momento da fecundação.

Fonte:  
KONO, T. et al. Birth of parthenogenetic mice that can develop to adulthood.  
*Nature* n. 428. 22 abr. 2004, p. 860-864.

## Páginas 194 e 195

### LEITURA

#### 1) Por que os gatos de três cores são fêmeas?

c) No caso da gata  $X^A X^A Mm bb$ , haverá células com pelos de cor laranja, pois ao menos um  $X^A$  sempre estará ativo; outras células terão pelos brancos.

No caso da gata  $X^A X^a Mm Bb$ , a presença do alelo  $B$  impede que se desenvolvam pelos brancos: nas células com  $X^A$  ativo, os pelos terão cor laranja; nas células com  $X^a$  ativo, os pelos terão cor preta.

#### 2) Determinação do sexo, orientação sexual e identidade de gênero

b) Um caso importante de ser comentado com os alunos é o do matemático britânico Alan Turing (1912-1954). Ele teve papel fundamental no desenvolvimento dos primeiros computadores e elaborou um mecanismo que permitiu decifrar códigos utilizados pelo exército alemão durante a Segunda Guerra Mundial, fato que contribuiu para a derrota da Alemanha nazista. No entanto, Turing era homossexual, o que, naquela época, era considerado crime no Reino Unido. Ele foi processado em 1952 e fez um acordo de se submeter ao tratamento hormonal conhecido como “castração química”. Dois anos mais tarde, muito deprimido, morreu por envenenamento, em um provável suicídio.

Em reconhecimento a sua importância para a Ciência e para o desenvolvimento tecnológico, e em consonância com as atuais leis do Reino Unido, a rainha Elizabeth II anunciou, em 2013, um pedido de perdão a Turing por sua condenação.

Em 17 de maio de 1990, a homossexualidade foi excluída da Classificação Estatística Internacional de Doenças e Problemas relacionados com a Saúde (CID), publicação da Organização Mundial da Saúde (OMS). A partir de 1992, nos países participantes da ONU, passaram a ser proibidas a condenação e a oferta de tratamentos medicamentosos e psicológicos para pessoas gays, em reconhecimento à diversidade de orientações sexuais natural da espécie humana, fato comprovado por análises científicas e do âmbito dos direitos humanos.

No entanto, ainda existem diversos países que condenam a homossexualidade, justificando em suas leis a prisão de pessoas com base nessa característica. Uganda é um país africano que revogou, em 2014, uma lei que previa a prisão perpétua de homossexuais.

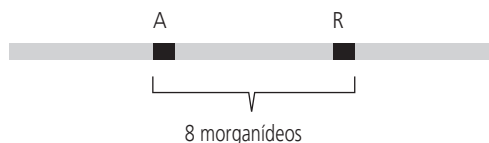
Em relação ao debate proposto, sugerimos que sejam levadas reportagens, filmes ou documentários para serem discutidos pelos alunos, após a leitura do texto. É importante estabelecer um clima de confiança e respeito, em que a troca de ideias se baseie em argumentos e fatos. Dois exemplos de filmes de ficção que podem motivar o debate são:

- *O jogo da imitação* (*The imitation game*) – direção de Morten Tyldum, cor, 1h55, 2014 (há versões legendadas). O filme reproduz a história de Alan Turing durante a Segunda Guerra Mundial e nos anos seguintes, incluindo sua condenação.
- *Minhas mães e meu pai* (*The kids are all right*) – direção de Lisa Cholodenko, cor, 1h46, 2010 (há versões dubladas e legendadas). Nic e Jules são duas mulheres casadas na Califórnia que moram com seus filhos adolescentes em um harmonioso lar. Os filhos, gerados por inseminação artificial, decidem encontrar seu pai biológico e a partir daí ocorrem situações que transformam a vida de todos.

## Respostas às atividades

### Revedo e aplicando conceitos

7. Os dados da questão indicam que a herança da cor da pelagem em cavalos é um exemplo de interação gênica com epistasia. São dois pares de alelos envolvidos com um só caráter ( $W/w$ ;  $B/b$ ); além disso, a presença do alelo  $W$  inibe a expressão dos outros alelos para cor preta ( $BB$  ou  $Bb$ ) ou marrom ( $bb$ ).
9. Os fenótipos recombinantes somam 8% da descendência, o que significa que a taxa de recombinação entre esses genes é de 8% e esse valor corresponde à distância entre eles no cromossomo: 8 morganídeos.



### Trabalhando com gráficos

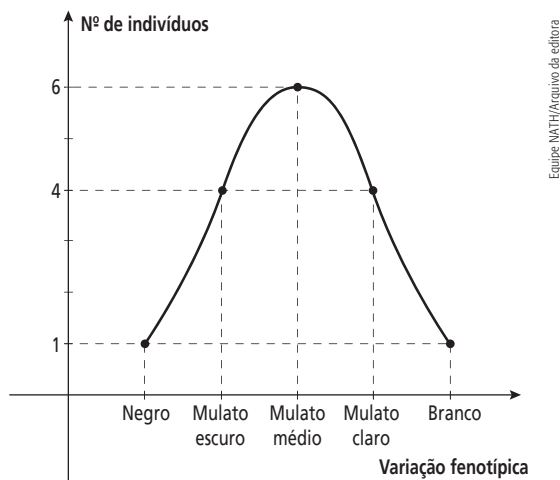
10. a) Genótipo do casal:  $NnBb \times NnBb$   
Possibilidades genotípicas para os filhos:

Gametas	NB	Nb	nB	nb
NB	NNBB	NNBb	NnBB	NnBb
Nb	NNBb	NNbb	NnBb	Nnbb
nB	NnBB	NnBb	nnBB	nnBb
nb	NnBb	Nnbb	nnBb	nnbb

## 10. b) Tabela:

Fenótipo	Genótipo	Proporção fenotípica
Negro	NNBB	1/16
Mulato escuro	NNBb NnBB	4/16
Mulato médio	NnBb NNbb nnBB	6/16
Mulato claro	nnBb Nnbb	4/16
Branco	nnbb	1/16

## 10. c) Modelo de gráfico:



## 11. b) Genótipo do macho heterozigótico: Vv

Genótipo da fêmea com asa vestigial: vv

Cruzamento: Vv × vv

Probabilidades na prole:

50% Vv – moscas com asas de comprimento normal

50% vv – moscas com asas vestigiais

A herança segue a lei de Mendel, pois estamos analisando apenas um caráter, com dois alelos.

## 11. c) Genótipo do macho heterozigótico: PpVv

Genótipo da fêmea com asa vestigial: Ppvv

Cruzamento: PpVv × Ppvv

Gametas	PV	pV
Pv	PPVv Cinza/asa normal	Ppvv Cinza/asa vestigial
pV	PpVv Cinza/asa normal	ppvv Preta/asa vestigial

A herança não segue a lei de Mendel, pois estamos analisando dois caracteres, condicionados por dois genes localizados no mesmo par de cromossomos homólogos, ou seja, são genes ligados.

## Ciência, Tecnologia e Sociedade

12. c) Direitos humanos são direitos inalienáveis: a vida, a liberdade e a segurança pessoal. Não importa quem a pessoa seja ou o que ela faça, nunca perde esses direitos básicos. Segundo o primeiro artigo da Declaração Universal dos Direitos Humanos:

Todos os seres humanos nascem livres e iguais em dignidade e em direitos. Dotados de razão e de consciência, devem agir uns para com os outros em espírito de fraternidade.

Disponível em: <[http://www.ohchr.org/EN/UDHR/Documents/UDHR\\_Translations/por.pdf](http://www.ohchr.org/EN/UDHR/Documents/UDHR_Translations/por.pdf)>. Acesso em: 08 maio 2016.

Ler a declaração com os alunos e trazer a partir da realidade deles discussões como preconceito, intolerância e injustiça pode ser uma boa forma de fazê-los repensar e assumir os direitos humanos como valores essenciais para sua vida e para a sociedade. O ensino de Genética pode contribuir ainda mais com essa reflexão, uma vez que desmistifica argumentações usadas para sustentar preconceito e violência. No caso específico citado na atividade (em relação à cor da pele e ao albinismo) os alunos podem refletir como algumas características são apenas expressões de genes e não trazem em si qualidades ou defeitos para ninguém. Veja texto disponível no site do Conselho Nacional de Justiça:

## Conheça a diferença entre racismo e injúria racial

Embora impliquem possibilidade de incidência da responsabilidade penal, os conceitos jurídicos de injúria racial e racismo são diferentes. O primeiro está contido no Código Penal brasileiro e o segundo, previsto na Lei n. 7.716/1989. Enquanto a injúria racial consiste em ofender a honra de alguém valendo-se de elementos referentes à raça, cor, etnia, religião ou origem, o crime de racismo atinge uma coletividade indeterminada de indivíduos, discriminando toda a integralidade de uma raça. Ao contrário da injúria racial, o crime de racismo é inafiançável e imprescritível. [...]

Em geral, o crime de injúria está associado ao uso de palavras depreciativas referentes à raça ou cor com a intenção de ofender a honra da vítima. [...]

Já o crime de racismo, previsto na Lei n. 7.716/1989, implica conduta discriminatória dirigida a determinado grupo ou coletividade e, geralmente, refere-se a crimes mais amplos. Nesses casos, cabe ao Ministério Público a legitimidade para processar o ofensor. [...]

Conselho Nacional de Justiça. 08 jun. 2015. Disponível em: <<http://www.cnj.jus.br/noticias/cnj/79571-conheca-a-diferenca-entre-racismo-e-injuria-racial>>. Acesso em: 17 abr. 2016.



**13. a)** Em outras palavras, na determinação de um fenótipo (que no texto é exemplificado como certas doenças), o genótipo ("a genética") do indivíduo sofre influência do meio ("o peso do fator ambiental").

**13. b)** O aconselhamento genético atende famílias com indivíduos afetados por doenças genéticas e pessoas sem histórico familiar de doença genética, mas que possuam risco de transmitir uma dessas doenças aos seus descendentes. É feito inicialmente por meio do levantamento do histórico pessoal e familiar e da análise de exames clínicos e genéticos. A pessoa recebe informações a respeito da doença genética, seus sintomas e mecanismo de herança, incluindo o cálculo da probabilidade de transmissão do(s) gene(s) identificado(s) para a descendência. No caso de doenças influenciadas pelo genótipo, mas cujos mecanismos de herança não são conhecidos ou há maior influência do meio, a informação sobre os riscos baseia-se em dados empíricos (riscos estimados pela observação direta de famílias com a mesma doença).

### Questões do Enem e de vestibulares

**17. a)** Negro(a) não albino(a):  $AABBDd$ .

negro albino:  $AABBdd$ .

branca não albina:  $aabbDd$ .

mulatos intermediários não albinos:  $AaBbDd$ .

mulata intermediária albina:  $AaBbdd$ .

**17. b)** Genótipo do casal:  $AaBbDd \times aabbdd$ .

Proporção esperada de filhos albinos ( $dd$ ): 50%.

**18. b)** Justificativa:

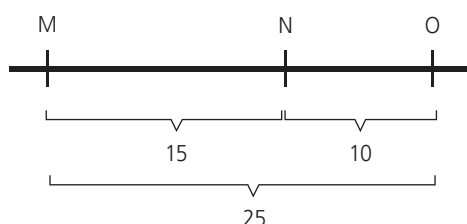
Mãe normal, filha de pai hemofílico:  $X^H X^h$

Pai normal:  $X^H Y$

Gametas	$X^H$	$X^h$
$X^H$	$X^H X^H$	$X^H X^h$
$Y$	$X^H Y$	$X^h Y$

Logo, para que a criança seja do sexo masculino e tenha hemofilia ("regra do e"), a chance será de  $1/2 \times 1/2 = 1/4$ .

**19. a)** Sequência entre os locos gênicos:



Equipe NATH/Arquivo da editora

## Capítulo 10

### Biologia molecular do gene: síntese proteica e engenharia genética

#### Comentários gerais

Nesta coleção, optou-se por abordar a síntese proteica na unidade que trata de Genética, e não em Citologia, por considerarmos esse tema profundamente relacionado às noções da função gênica, propiciando melhor compreensão do assunto pelos alunos. Ao discutir síntese proteica, avaliamos ser conveniente introduzir o assunto mutações gênicas e possíveis consequências na síntese proteica.

Como este é um assunto relacionado a estudos moleculares do gene, procurou-se estabelecer ligação com diversos temas da engenharia genética: organismos geneticamente modificados, Projeto Genoma, terapia gênica e clonagem (neste caso, trouxemos o exemplo da bezerra Vitória para discutir um exemplo de estudo de clonagem feito no Brasil e que ganhou bastante destaque na mídia).

Em geral, a engenharia genética, suas técnicas e seus avanços têm grande destaque na mídia, mas sem conhecer os fundamentos científicos os cidadãos correm o risco de serem iludidos ou alarmados por manchetes exageradas. Nesse sentido, as aulas de Biologia são importantes para construir a fundamentação conceitual, a capacidade de reflexão crítica e a busca por fontes confiáveis de informação. Na apresentação dos conceitos, consideramos a adequação em profundidade e abordagem aos alunos do Ensino Médio.

Por outro lado, há questões éticas inerentes à engenharia genética e sua possibilidade de modificar organismos. Tais questões não devem ser ignoradas em sala de aula e, neste capítulo, há sugestões de atividades que permitem abordar aspectos de bioética com os alunos.

#### Reflexões sobre o ensino de Biologia

#### Página 200

##### Avaliar para planejar

Muitas pesquisas na área de ensino de Biologia indicam ser comuns as concepções errôneas a respeito dos conceitos envolvendo gene, DNA, material genético, genoma e código genético. A compreensão de tais conceitos é a base para entender a Biologia atualmente: como os seres vivos se reproduzem, por que expressam determinadas características, as relações de parentesco evolutivo, a variabilidade entre indivíduos de uma espécie – todas essas questões básicas são atualmente explicadas pelos conceitos que envolvem o material genético.

Silveira (2014) abordou em um artigo a dificuldade na compreensão dos termos mencionados anteriormente por alunos do Ensino Médio, o que foi verificado também em reportagens de diversos jornais de grande circulação. O pesquisador propõe, então, uma avaliação do que os alunos compreenderam como forma de redirecionar as estratégias de ensino:

Um procedimento importante na atividade do docente é fazer um levantamento do que seus alunos já sabem sobre o assunto que será estudado, pois é a partir dessas concepções prévias que o conhecimento será construído. O planejamento de uma sequência didática deveria, de alguma forma, considerar essas concepções prévias, de modo a provocar uma negociação entre as ideias que os alunos possuem com a concepção científica do fenômeno. (SILVEIRA, 2014, p. 13)

De acordo com o artigo, foi elaborada uma questão para fazer o levantamento das concepções dos alunos a respeito do conceito de código genético. Na questão, aplicada após uma sequência didática com o tema biologia molecular, foram apresentados padrões fictícios de sequenciamento do DNA de casais de garças e de um filhote com uma mutação na cor das penas, pedindo aos alunos que identificassem qual era o casal progenitor. Além disso, havia a pergunta: “Podemos afirmar que o filhote apresenta um código genético diferente dos demais indivíduos estudados? Justifique”.

A maior parte dos alunos conseguiu identificar corretamente o casal de garças que gerou o filhote com mutação, mas as respostas à segunda pergunta foram, em sua maioria, equivocadas. O código genético foi atribuído, por alguns alunos, como sendo típico da espécie, em uma confusão com o conceito de genoma. Apareceram também respostas indicando a confusão entre os termos código genético e material genético, em afirmações como “cada indivíduo possui seu próprio código genético”.

O exemplo fornecido por este artigo inspira em nosso trabalho em sala de aula uma postura investigativa, utilizando as avaliações como uma bússola para o planejamento de aulas e estratégias didáticas que sejam mais motivadoras e capazes de alterar concepções alternativas trazidas pelos estudantes.

Fonte:  
SILVEIRA, R. V. M. Código genético: uma análise das concepções dos alunos do Ensino Médio. *Genética na escola*, v. 9, n. 1. São Paulo: Sociedade Brasileira de Genética, 2014, p. 12-19. Disponível em: <<http://www.geneticanaescola.com.br/#!edicoes-antiores/cudb>>. Acesso em: 01 maio 2016.

## Sugestões de atividades complementares

### Página 213

#### Proposta de redação

Proponha aos alunos que elaborem redações sobre o tema *Manipulação genética e o futuro da humanidade*, em conjunto com os professores de Língua

Portuguesa, História e Filosofia. As redações deverão abordar aspectos éticos, como conflitos presentes na participação de seres humanos em pesquisas genéticas e implicações dos conhecimentos sobre a genética na vida das pessoas no futuro. É essencial analisar de que forma os alunos utilizarão os conceitos aprendidos na formulação de argumentos, assim como a estrutura e a coerência do texto.

Sugestões de fontes com subsídios relacionados ao tema:

PEREIRA, L. da V. *Clonagem: da ovelha Dolly às células-tronco*. São Paulo: Moderna, 2006.

ZATZ, M. *Genética: escolhas que nossos avós não faziam*. São Paulo: Editora Globo, 2011.

## Temas abordados: comentários e aprofundamentos

### Página 204

#### Código genético

A universalidade do código genético é uma característica fundamental a ser compreendida pelos alunos. Ela permite entender a ancestralidade comum dos seres vivos, tema abordado no volume 2 da coleção e na unidade seguinte deste livro. É possível também compreender como bactérias podem ser usadas para a síntese de insulina humana, entre outros exemplos de técnicas de DNA recombinante.

Para toda regra, há exceções – e essa afirmação se aplica à Biologia. Recentemente, pequenas variações no código genético foram identificadas no DNA mitocondrial e em algumas espécies de bactérias, de fungos e de protistas. Esses casos não anulam, contudo, a regra geral: a de que o código genético é universal.

Saiba mais:  
BORGES, J. C. Vida é informação. *Ciência Hoje on-line*. 12 set. 2008. Disponível em: <<http://cienciahoje.uol.com.br/colunas/por-dentro-das-celulas/vida-e-informacao>>. Acesso em: 01 maio 2016.

### Página 214



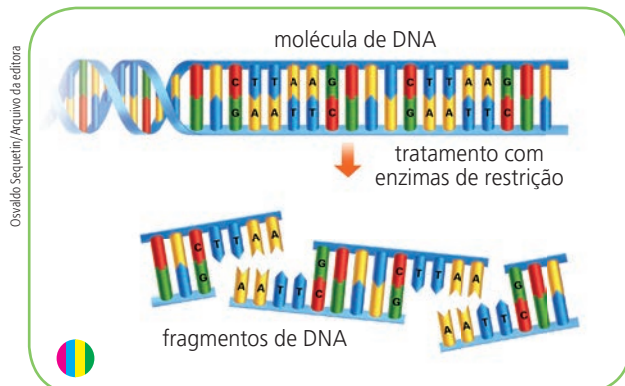
#### ATIVIDADE PRÁTICA

## Como os cientistas manipulam o DNA?

### Interpretando os resultados

- b. No equipamento de eletroforese em gel há uma bandeja contendo uma solução aquosa, na qual a placa de gel de agarose com as amostras é mergulhada. Em cada extremidade dessa bandeja há um eletrodo, sendo um catodo (polo negativo) e um anodo (polo positivo). Quando a fonte de energia é ligada, forma-se uma corrente elétrica. O DNA, que é uma molécula com caráter negativo, se move em direção ao polo positivo.

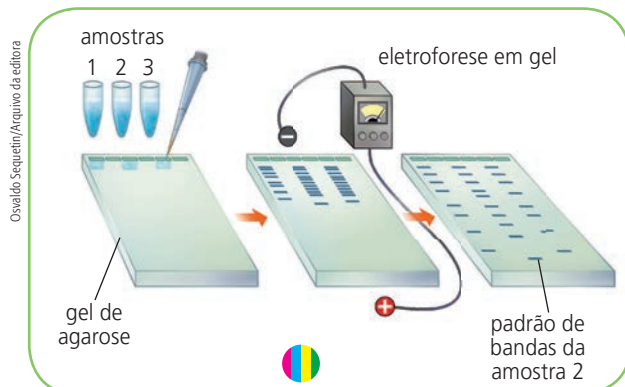
Nesse processo de migração dos fragmentos de DNA no gel, os fragmentos maiores movem-se mais lentamente do que os menores. Como se estipula um tempo para a realização do teste, os fragmentos menores percorrem maior distância em relação aos poços onde as amostras foram colocadas.



Esquema ilustrando a obtenção de fragmentos de DNA.

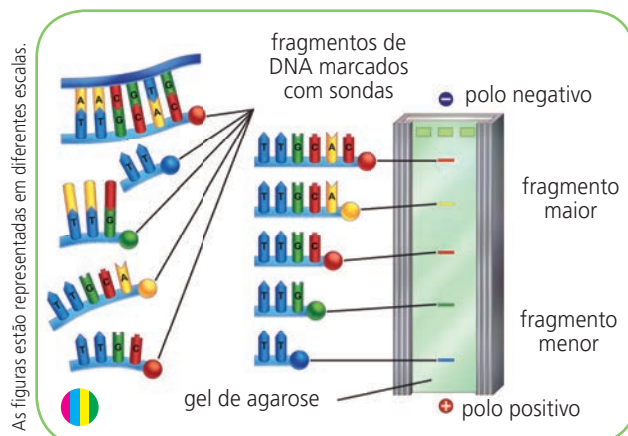
Quando a corrente elétrica é desligada, é adicionado um corante que se torna fluorescente sob luz ultravioleta. Esse corante se liga aos fragmentos de DNA e, dessa forma, os fragmentos aparecem na forma de bandas quando iluminados com UV.

Quando se pretende localizar determinadas sequências de interesse, podem ser adicionadas substâncias que se ligam a regiões específicas, constituindo uma sonda radioativa que permite localizar ou identificar os fragmentos de interesse no padrão de bandas formado no gel.



Esquema representando a relação entre o comprimento dos fragmentos de DNA e as bandas no gel de agarose, após a eletroforese.

Cada indivíduo de uma população possui um patrimônio genético único. Aplicando-se o mesmo tratamento com enzimas de restrição, o padrão de bandas correspondente à análise do DNA de um indivíduo é diferente do padrão obtido para o DNA de outro indivíduo (exceto no caso de gêmeos monozigóticos). Por isso, a análise de DNA permite resolver casos como testes de paternidade e investigações forenses.



Esquema mostrando de modo simplificado a eletroforese em gel.

As amostras de DNA para esse tipo de teste podem ser obtidas a partir de vestígios de sangue, sêmen, saliva e bulbo capilar.

## Respostas às atividades

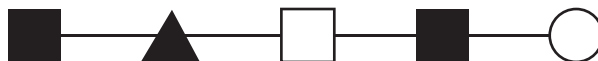
### Reverendo e aplicando conceitos

#### 3. Gene 1

RNA<sub>m</sub>: AUG.AGG.GGG.AUG.AAG

RNA<sub>t</sub>: UAC.UCC.CCC.UAC.UUC

Aminoácidos:



#### Gene 2

RNA<sub>m</sub>: AUG.AGC.GGG.UGA.AG

RNA<sub>t</sub>: UAC.UGC.CCC.ACU.UC

Aminoácidos:



#### 4. Comparação entre 1 e 2:

Gene 1: TACTCCCCCTACTTC

Gene 2: TACTCGCCC\_ACTTC

A primeira mutação foi a substituição da base citosina por uma guanina; essa mutação, no entanto, não provocou alteração no peptídeo (mutação silenciosa). A outra mutação foi a perda do nucleotídeo de timina no gene 2, em comparação com o gene 1. Essa mutação provocou alteração dos códons e formou-se um códon de parada, que interrompeu a tradução.

5. A falta de aminoácidos essenciais pode causar a deficiência na produção das proteínas que possuem um ou mais desses aminoácidos em sua estrutura primária. As consequências podem ser graves, pois



as proteínas estão envolvidas nos diversos processos metabólicos das células. Uma observação: existem vias metabólicas que convertem um aminoácido em outro, como a transformação de fenilalanina em tirosina, precursora da melanina, dos hormônios insulina, T3 e T4 e envolvida em outros processos.

**6. a)** Tradução livre do artigo escrito em 1953 por Watson e Crick, para a revista *Nature*:

### ESTRUTURA MOLECULAR DOS ÁCIDOS NUCLEICOS

Uma estrutura para o ácido desoxirribonucleico

Gostaríamos de sugerir uma estrutura para o sal de ácido desoxirribonucleico (A.D.N.). Esta estrutura tem características singulares, que são de considerável interesse biológico.

[...] Gostaríamos de evidenciar uma estrutura radicalmente diferente para o sal de ácido desoxirribonucleico (A.D.N.). Esta estrutura tem duas cadeias helicoidais, as quais são mantidas ao redor de um mesmo eixo (ver esquema). [...]

A característica singular da estrutura está na maneira como as duas cadeias estão ligadas pelas bases purina e pirimidina. [...] Um elemento do par deve ser uma purina, e o outro, uma pirimidina, para que a ligação ocorra.

[...] Estes pares são: adenina (purina) com timina (pirimidina), e guanina (purina) com citosina (pirimidina).

[...] Não deixamos de notar que o emparelhamento específico que nós postulamos sugere um possível mecanismo de cópia para o material genético.

### Trabalhando com gráficos

**8. c)** A consequência pode ser silenciosa, ou seja, a cadeia polipeptídica resultante pode não ser alterada, mas dependendo da posição do nucleotídeo alterado e do aminoácido que ele codifica, o efeito pode ser a síntese de uma cadeia polipeptídica anormal e não funcional.

**8. d)** Os alunos podem mencionar que cabe ao governo fiscalizar os abusos na utilização de agrotóxicos e aplicar medidas punitivas aos produtores que não seguirem determinados parâmetros. No entanto, são os consumidores que, direta ou indiretamente, influenciam os meios de produção. A pressão da sociedade por alimentos mais saudáveis e livres de agrotóxicos tem aumentado a oferta de produtos orgânicos (cultivados sem agrotóxicos) em diversos pontos do Brasil e do mundo.

### Ciência, Tecnologia e Sociedade

**9. b)** Para esta atividade, é importante orientar os alunos em relação à escolha das fontes de consulta e à interpretação das informações obtidas. Existem organizações que se posicionam abertamente contra o cultivo e o consumo de alimentos transgênicos; nas

publicações feitas por elas são esperadas, portanto, informações que confirmem sua posição. Por outro lado, as instituições que defendem o desenvolvimento de transgênicos geralmente fornecem argumentos elencando as vantagens desses produtos obtidos pela biotecnologia.

Veja o exemplo a seguir, retirado do site do Centro de Genética Molecular da Universidade Federal de Minas Gerais, em uma seção de perguntas e respostas a respeito dos transgênicos:

### Por que há tanta polêmica em relação aos transgênicos?

A maior parte da polêmica que envolve os transgênicos está baseada na desinformação das pessoas. Deve haver muita parcimônia nas discussões sobre o uso dos transgênicos, avaliando cada caso em particular, para que as vantagens e desvantagens sejam efetivamente analisadas. Ao governo cabe a responsabilidade de regulamentar, autorizar e fiscalizar as ações relativas ao desenvolvimento, plantio, criação e comercialização de transgênicos. Ao consumidor, cabe o direito de se informar e ser informado sobre os transgênicos para escolher se quer ou não consumir um alimento com essa tecnologia. É importante lembrar que vários avanços na área da saúde foram bastante criticados pela população em geral. Um dos casos mais extremos foi a Revolta da vacina em 1904 no Rio de Janeiro. O motivo da Revolta foi a rejeição popular contra a vacinação obrigatória contra a varíola.

Disponível em: <<http://www.cgm.icb.ufmg.br/oquesao.php>>. Acesso em: 04 maio 2016.

O trecho a seguir está no site da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp-SP), escrito por uma engenheira agrônoma que é membro da campanha “Por um Brasil livre de transgênicos”.

### Transgênicos “não matarão a fome” nos países em desenvolvimento

Esta questão envolve dois aspectos distintos, um de caráter técnico e outro de caráter político.

Primeiro, os cultivos transgênicos não são mais produtivos do que os cultivos convencionais, portanto não poderão atender a uma supostamente crescente demanda por alimentos.

O segundo está relacionado com o acesso que as populações carentes terão aos alimentos produzidos.

Como já foi dito, planta-se comercialmente no mundo quatro cultivos transgênicos: soja, milho, algodão e canola. São cultivos de exportação dos quais mais de 80% destinados, basicamente, à alimentação animal nos países do Norte.

A produção de sementes transgênicas está concentrada nas mãos de algumas poucas empresas multinacionais, o que caracteriza uma situação de oligopólio mundial. Sob o poder de um oligopólio no setor da alimentação, a tendência é que o acesso aos alimentos seja cada vez mais restrito. As sementes e, conse-

quentemente, os alimentos, ficam sujeitos aos preços ditados pelas empresas, que objetivam apenas o lucro.

Além disso, como já foi discutido, as sementes transgênicas são patenteadas, o que coloca o agricultor, sobretudo o pequeno, numa situação de dependência [...]. Nota-se, portanto, que o interesse das empresas de biotecnologia está bem distante daquele de alimentar populações carentes. Seus objetivos são meramente comerciais.

Disponível em: <<http://www.unicamp.br/fea/ortega/agenda21/candeia.htm>>. Acesso em: 04 maio 2016.

A questão dos alimentos provenientes de Organismos Geneticamente Modificados (OGM) é importante de ser discutida em seus aspectos técnicos e éticos. A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) determinou, em 2003, que a presença de ingredientes vindos de organismos transgênicos em alimentos, sejam eles destinados ao consumo humano ou de animais, deve ser avisada ao consumidor no rótulo, por escrito e com um símbolo. Desse modo, o consumidor pode conhecer a origem do alimento. No entanto, pouco é divulgado a respeito da produção de plantas a partir de sementes transgênicas, suas reais vantagens e desvantagens, possibilitando ao consumidor uma decisão mais consciente no momento de escolher os alimentos.

Em relação aos riscos para a saúde humana, dois fatos devem ser destacados: o desenvolvimento de uma variedade geneticamente modificada de planta envolve muitos testes para garantir a segurança no consumo (como a verificação de alergias alimentares e outras possíveis reações). No entanto, não há estudos em longo prazo avaliando os efeitos do consumo de ingredientes de origem transgênica. Alguns estudos, ainda não conclusivos, sugerem que o consumo de alimentos transgênicos nos Estados Unidos pode estar relacionado com o aumento no número de certos tipos de alergia ao longo da década de 2000.

Os alunos podem encontrar uma visão geral a respeito dos transgênicos no livro paradigmático *Transgênicos – inventando seres vivos*, de Samuel Murgel Branco (Ed. Moderna, 2. ed., 2015).

**9. c)** Para esta atividade, vale a mesma recomendação feita na questão anterior a respeito da escolha das fontes de consulta. A possibilidade de modificar o genoma de um ser vivo, seja ele um vírus, uma planta ou qualquer outro, envolve questões de segurança para proteger a biodiversidade e pode envolver questões éticas em relação ao uso dessa tecnologia, seus objetivos e riscos. Sugerimos que a pesquisa seja feita em revistas e sites de divulgação científica, que geralmente não reproduzem informações tendenciosas ou imprecisas.

## UNIDADE 3

### Evolução

**Capítulo 11** – Evolução: conceito e evidências

**Capítulo 12** – Teoria sintética da evolução, especiação e genética de populações

**Capítulo 13** – Evolução humana

### Objetivos gerais da unidade

A evolução biológica é uma característica dos seres vivos e optamos por encerrar este livro (e também a coleção) com o tema. Consideramos que os alunos já estudaram, ao longo do curso de Biologia, a origem da vida, a classificação dos seres vivos, a hereditariedade e as interações ecológicas, assuntos em que o conceito de evolução é abordado.

Assim, para compreender os fundamentos da teoria evolucionista moderna, o aluno aplicará conceitos estudados anteriormente. A abordagem agora é mais aprofundada, descrevendo-se processos evolutivos e um pouco da história das teorias científicas sobre evolução.

### Abertura da unidade



A fotografia de abertura mostra um tentilhão de uma das espécies endêmicas do arquipélago de

Galápagos, no oceano Pacífico. Conhecido popularmente como tentilhão-dos-cactos, ele se alimenta do caule e, preferencialmente, do néctar das flores dessa planta.

O que significa dizer que uma espécie é endêmica? O termo refere-se àquelas espécies encontradas apenas em uma determinada região, apresentando adaptações que se relacionam profundamente com as características daquele ambiente. Como explicar o surgimento de espécies endêmicas? Como as espécies endêmicas de Galápagos apareceram no arquipélago, localizado a cerca de 1 000 quilômetros da costa do Equador? Quando se fala em Galápagos, as pessoas logo associam o arquipélago à teoria da evolução – por quê?

Essas são algumas questões que podem surgir em uma conversa inicial com a turma a respeito da imagem de abertura da unidade, que traz também outras perguntas, relacionadas aos conteúdos dos capítulos. Os alunos podem voltar a essas questões ao final da unidade, procurando respondê-las com base no que foi estudado e usando-as como um guia para verificação da aprendizagem.

Neste momento inicial, as questões, as ideias e os argumentos elaborados pelos alunos podem se tornar uma importante ferramenta que permite a você, professor(a), avaliar os conhecimentos prévios dos estudantes e, com base nisso, buscar a abordagem mais apropriada para tratar o tema. Tanto o professor quanto o aluno podem contar com o livro para obter informações corretas, esquemas e ilustrações que auxiliam o entendimento, e muitas atividades.

## CAPÍTULO 11

### Evolução: conceito e evidências

#### Comentários gerais

Evolução é um tema tratado nesta coleção desde o começo. Por isso, espera-se que, ao iniciar o capítulo, os alunos já tenham noções sobre o que é evolução biológica e seleção natural.

Neste capítulo serão discutidos os principais conceitos e evidências que apoiam a teoria da evolução. Embora presentes desde o primeiro capítulo do livro, é aqui que se sistematizam os conceitos relacionados a este tema central da Biologia.

O assunto pode gerar polêmica em relação a outras escolas de pensamento, como a dos criacionistas, e é saudável abrir em aula essa discussão, caso ela ocorra naturalmente por interesse dos alunos. Trata-se de uma oportunidade de compreender e reforçar que a Ciência apresenta objetivos e métodos próprios, que a diferencia de outros modos de interpretação da natureza.

## Reflexões sobre o ensino de Biologia

### Página 222

#### Ensino de Evolução nas aulas de Biologia

O ensino de Evolução é apontado pelos Parâmetros Curriculares Nacionais de Ensino Médio como um dos importantes eixos no qual o currículo de Biologia está sustentado. Em 1973, o geneticista e biólogo evolutivo Theodosius Dobzhansky cunhou a célebre frase, defendida por muitos até hoje: “Nada em Biologia faz sentido se não for à luz da evolução”. Embora ainda não seja comum o ensino de fenômenos biológicos sob essa ótica, cada vez mais se revela fundamental entender e abordar esses conhecimentos dentro de uma perspectiva evolucionista.

A evolução biológica é atualmente a base do atual pensamento científico em Biologia, sendo uma teoria amplamente fundamentada:

Apesar do termo Teoria da Evolução Biológica ser usual nos meios de ensino e de pesquisa, já não se duvida que a Evolução Biológica seja efetivamente um fato. Aceitar algo como um fato significa admitir sua existência a despeito do que sabemos ou compreendemos a respeito. Nenhum debate científico recente tem posto em dúvida o fato ou a realidade objetiva da Evolução Biológica, embora haja divergências a propósito de sua reconstituição histórica ou sobre seus mecanismos causais. No entanto, polêmicas científicas sobre “como” ou “por que” a Evolução Biológica ocorreu no passado e continua a ocorrer no presente, não a suprimem como um fato. Biólogos modernos aceitam a Evolução Biológica como um fato tão bem demonstrado como os fatos da história antiga. [CARNEIRO, 2004]

Se, por um lado, a teoria da evolução biológica é aceita praticamente como um fato, por outro ela requer cuidados na transposição didática, pois seus conteúdos são de difícil entendimento se forem transmitidos da mesma forma que vêm sendo produzidos pela comunidade científica. Isso dificulta o trabalho do educador em sala de aula e é um dos primeiros desafios a ser superado. Nos capítulos deste livro apresentamos algumas explicações buscando auxiliar o entendimento dos fundamentos dessa teoria por parte do aluno e, assim, facilitar o trabalho do professor.

Outro desafio a ser enfrentado no ensino de evolução é que algumas de suas explicações são formuladas com base em conhecimentos complexos para a faixa etária do Ensino Médio, como os da genética moderna.



Em um estudo recente, Silva e colaboradores (2016) demonstraram que, embora a maioria dos professores entrevistados fosse capaz de relacionar a importância dos conteúdos de Genética para o entendimento da teoria da evolução, apenas uma pequena parcela deles conseguiu abordar esses temas de modo integrado em suas aulas.

Nesta coleção os conteúdos de genética (unidade 2 deste livro) são apresentados antes dos conteúdos sobre evolução (unidade 3). Com esta sequência, sugerimos que os conhecimentos de genética sejam retomados e revisados permitindo ampliar o entendimento do pensamento evolutivo, permitindo aos alunos analisar hipóteses e conceitos de uma maneira mais significativa.

Sugerimos também que, além dos exemplos fornecidos pelo texto, sejam abordadas outras situações que auxiliem os alunos a refletir sobre o que estão aprendendo e a levantar possíveis dúvidas. Há bons autores de livros de divulgação científica, cujas obras oferecem ótimos exemplos que podem auxiliar o professor a contextualizar o ensino de evolução: Stephen Jay Gould, Richard Dawkins, Ernst Mayr, entre outros.

Mas como abordar conteúdos de Evolução Biológica sem incorrer em erros conceituais se esse assunto parece desafiador? Ler e aprofundar-se mais a respeito tanto no material fornecido neste Manual quanto em outras fontes confiáveis de pesquisa pode auxiliar o professor a fazer transposições didáticas com maior segurança e facilidade.

Um último e não menos importante desafio a ser conhecido pelo professor de Biologia no ensino de evolução está relacionado aos possíveis conflitos de ordem religiosa que podem surgir ao longo das atividades. Em relação a isso, Amorim e Leyser (2008) sugerem que o professor se posicione como um biólogo-educador:

Primeiramente, o licenciado em Ciências Biológicas que assume uma sala de aula tem de ter claro pra si seus objetivos, enquanto profissional de ensino. Se ele busca na educação uma forma de se realizar profissionalmente, ele deve também entender que, ao entrar no ambiente escolar, passa a assumir de imediato um compromisso com a formação – escolarização, instrução, educação – de pessoas humanas, pelas quais ele deve ser responsável, dentro de suas possibilidades. Então é a esse profissional, a quem chamamos de biólogo-educador, que esse texto se dirige.

Remetemos a Paulo Freire, ao lembrar que respeitar as opiniões pessoais e crenças religiosas dos estudantes não significa deixá-los na ignorância científica. É nosso papel, enquanto biólogos-educadores, ensinar zoologia, botânica, citologia, sistemática, taxonomia, ecologia, genética, origem e evolução dos seres vivos. Principalmente as quatro últimas áreas de estudo trarão, inevitavelmente, muitas questões de conflito, de controvérsia e polêmica que não podem ser deixadas de lado, sob o amargo preço de estarmos, ao invés de educando, simplesmente adestrando, domesticando, ou mesmo doutrinando seres humanos. Freire defende que o papel da educação não é prender, ou doutrinar, e sim de libertar, e de dar conhecimento para o educando ser, acima de tudo. (AMORIM; LEYSER, 2008)

Para ensinar sob essa perspectiva é importante que o professor escute argumentos e opiniões dos alunos, mas que junto a isso apresente a Biologia como uma Ciência que explica os fenômenos naturais fundamentada em experimentações e comprovações de hipóteses. Não significa ridicularizar ou diminuir as explicações alternativas dos alunos, apenas demonstrar que são possíveis outras formas de se explicar os mesmos fenômenos e que a escola tem como objetivo apresentar e promover o pensamento científico, que faz parte do conjunto de conhecimentos construídos e valorizados pela humanidade. É direito dos alunos o acesso a esse conhecimento. Desse modo, sugerimos:

[...] Pois como afirma o mestre Freire, respeitar o aluno não significa deixá-lo na ingenuidade, e sim assumir sua ingenuidade com ele, para ultrapassá-la. (AMORIM; LEYSER, 2008)

Saiba mais:

AMORIM, M. C.; LEYSER, V. Ensino de evolução biológica: implicações éticas da abordagem de conflitos de natureza religiosa em sala de aula. *VII Enpec*. Florianópolis, 2009. Disponível em: <<http://posgrad.fae.ufmg.br/posgrad/viiienpec/pdfs/1305.pdf>>.

CARNEIRO, A. P. N. A evolução biológica aos olhos de professores não-licenciados. Dissertação de mestrado. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2004. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/87246/210787.pdf?sequence=1>>.

SILVA, A. P. Z.; FRANZOLIN, F.; BIZZO, N. Concepções de genética e evolução e seu impacto na prática docente no ensino de biologia. *Genética na escola*, v. 11, n. 1, 2016, p. 8-19. Disponível em: <<http://www.geneticanaescola.com.br/>>.

Acessos em: 05 maio 2016.

## Sugestões de atividades complementares

### Página 224

#### Simulando um processo de fossilização

Existem diferentes tipos de fósseis, resultantes de processos distintos de fossilização. Esses processos

dependem do material original e de condições como: composição da rocha, teor de gás oxigênio e de umidade, entre outras. Entre os tipos de fossilização, foi citada no texto do livro a substituição ou petrificação.

Para facilitar o entendimento desse processo, sugerimos a atividade descrita pela professora Maria Antonieta Gonzaga Silva, disponível no Portal do Professor, do MEC. Usando esponjas sintéticas e sal de cozinha, a atividade permite entender o processo de mineralização, ou substituição, de fósseis. Supervisione os alunos durante a aula prática e não permita que eles tenham contato com a água quente (não fervente) para evitar queimaduras.

## Simulando a fossilização por substituição

### Material necessário

- Um balde (ou outro recipiente fundo, para abrigar o “fóssil”);
- areia suficiente para encher o balde até a metade do volume;
- esponjas sintéticas;
- sal de cozinha;
- água quente (não fervente), o suficiente para cobrir a areia;
- canetas hidrográficas de ponta grossa;
- tesoura sem ponta;
- uma pá pequena.

### Procedimentos

1. Com a caneta, desenhar um osso ou outra estrutura na esponja e recortar no formato desejado, usando a tesoura sem ponta.
2. Colocar metade da areia no balde e sobre ela a esponja, que representará a estrutura biológica a ser enterrada. Cubra-a com o restante da areia, apertando bem.
3. O professor deve acrescentar 2 colheres de sopa de sal à água quente e mexer até sua completa dissolução. Ele, então, deve despejar cuidadosamente a solução de água e sal sobre a areia, até cobrir a sua superfície.
4. Esperar a água secar por completo, o que pode levar algumas horas (em dias úmidos esta etapa é mais demorada).
5. Com a pá, cavar a areia até encontrar e desenterrar o “fóssil”.

Adaptado de:  
PORTAL DO PROFESSOR, MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. Vamos fazer um fóssil? Disponível em: <<http://portaldoprofessor.mec.gov.br/fichaTecnicaAula.html?aula=7840>>. Acesso em: 05 maio 2016.

## Comentários

Como resultado, espera-se que as esponjas enterradas fiquem duras, rígidas. A água evapora e o sal que estava nela dissolvido se deposita nos poros das esponjas, tornando-as rígidas depois de secas.

O que aconteceu com a esponja é parecido com a fossilização por substituição mineral. Os minerais presentes no solo e nas rochas preenchem, ao longo do tempo, os “espaços vazios” dos organismos enterrados. A matéria orgânica é decomposta e acaba sendo substituída por minerais. O organismo fica assim preservado em sua forma, em uma estrutura rígida e rochosa que chamamos de fóssil.

Ao final da atividade, converse com os alunos sobre o que acontece com as partes moles de um organismo que sofre fossilização. A simulação proposta não gera fósseis, mas apenas uma estrutura que pode auxiliar na compreensão de um processo que leva no mínimo milhares de anos.

## Página 231

### Diário de bordo: a viagem de Darwin e a viagem de Wallace

Nesta proposta, o aluno pode escolher a biografia de um dos cientistas para pesquisar: Charles Darwin, enfocando sua viagem a bordo do navio *Beagle*, ou Alfred Russel Wallace, em viagem ao arquipélago Malaio.

O aluno deve procurar informações a respeito de lugares visitados, observações feitas pelo cientista e a importância das observações para a formulação da teoria da evolução por seleção natural. Deve-se sugerir a consulta a livros paradidáticos, revistas e *sites* de divulgação científica.

Com as informações, o aluno pode redigir um texto simulando a página de um diário de bordo, como se tivesse sendo escrito pelo próprio cientista – portanto, em primeira pessoa do singular. Nesse diário, o aluno deve relatar um acontecimento, ou uma observação realizada pelo cientista, em uma data da expedição.

O texto pode ser ilustrado. Se julgar interessante, dê a opção de produzir uma história em quadrinhos no lugar do diário de bordo.

Veja a seguir subsídios para a atividade, com base na viagem de Darwin. Ele fez um registro minucioso de suas observações ao longo de toda a viagem. Além desses registros, escreveu numerosas cartas dirigidas a familiares, amigos e cientistas. Terminada a viagem, em 1837, Darwin continuou mantendo correspondência constante. Vamos apresentar aqui um pequeno trecho de cartas que documentam a passagem do naturalista pelo Brasil.

1º de março. Bahia ou S. Salvador. – Cheguei a este lugar no dia 28 de fevereiro e agora escrevo esta carta, depois de haver passeado resolutamente pelas florestas do novo mundo. – Ninguém seria capaz de imaginar nada tão belo quanto a antiga cidade da Bahia; ela fica docemente aconchegada num bosque exuberante de lindas árvores – situando-se sobre uma colina íngreme, descortina as águas calmas da grande Baía de Todos os Santos. As casas são brancas e altivas e, pelo fato de as janelas serem estreitas e longas, têm uma aparência muito leve e elegante. Os conventos, os pórticos e os prédios públicos quebram a uniformidade das casas: a baía é repleta de grandes navios. Em suma, o que mais se poderá dizer? Ela é uma das paisagens mais lindas dos Brasis. Mas o prazer glorioso e requintado de caminhar por entre essas flores e essas árvores só pode ser compreendido por aqueles que o experimentaram. – Embora, nesta Latitude tão baixa, a temperatura não seja tão desagradavelmente quente, no momento ela é muito úmida, pois estamos na estação das chuvas. – Verifico que, até aqui, o clima combina admiravelmente comigo: dá vontade de levar uma vida sossegada, por algum tempo, numa região assim.

Fonte:

BURKHARDT, F. *As cartas de Charles Darwin: uma seleta, 1825-1859*. São Paulo: Editora Unesp; Cambridge University Press, 2000.

## Página 232

### Atividade interdisciplinar com História

Sugerimos que em conjunto com o professor de História seja feita uma pesquisa mais aprofundada a respeito da viagem de Darwin a bordo do *Beagle*, buscando compreender as seguintes questões:

- Quais eram seus objetivos?
- Que outras informações – além dos registros de Darwin – foram coletadas e levadas à Europa por essa expedição?
- Quais foram as impressões de Darwin ao conhecer cidades brasileiras?
- Qual era o contexto histórico do Brasil na época da famosa viagem?

No planejamento da atividade, você e o professor de História podem ler alguns artigos e livros a respeito do tema. Como referência, sugerimos o artigo de Passetti (2015), no qual ele descreve como uma imagem pré-concebida a respeito da América do Sul influenciou o olhar e os registros do capitão do navio, Robert FitzRoy. Ao visitar cidades da costa do Chile, por exemplo, ele descreveu a situação precária em que viviam os nativos e analisou ser resultado da colonização espanhola “incapaz de civilizar os indígenas e que os deturpou, afastando-os do estado original de ‘bons selvagens’.” (PASSETTI, 2015, p. 75).

Leia a seguir alguns trechos do artigo.

### Na proa do mundo

[...] A viagem fazia parte de um projeto amplo de mapeamento do planeta executado pela Marinha Real Britânica. [...] Para eles (os britânicos), era fundamental reunir conhecimento científico sobre as costas de todo o planeta, especialmente nos portos abertos às “nações amigas” e nas regiões em que a navegação era mais difícil. Muitas embarcações cumpriram essa tarefa. Uma delas foi o *Beagle*. [...]

Desde o século XVIII, os britânicos construíram a ideia de que a Grã-Bretanha era a terra da estabilidade política, do uso racional da força, da prosperidade econômica e das liberdades burguesas. FitzRoy tinha essa autoimagem na cabeça quando chegou a uma América do Sul independente há aproximadamente uma década, onde diferentes grupos políticos disputavam o poder dos Estados em construção. O que ele viu foi o oposto do seu ideal, e foi assim que ele retratou a região e seus habitantes.

Quando o *Beagle* aportou no Rio de Janeiro em 1832, o sistema político recém-instituído estava em crise por causa da abdicação do imperador D. Pedro I, ocorrida um ano antes. O comandante foi enfático na crítica ao que viu: descreveu sua chegada opondo a clássica imagem da natureza exuberante ao choque por ver marinheiros ingleses desembarcando para ajudar a restabelecer a ordem pública na cidade. “Poucos estrangeiros visitam as cidades do Brasil sem se desapontar ou até enojar”, escreveu, referindo-se às multidões de negros seminus vagando por vielas estreitas e imundas. [...] Para o comandante, o problema do Brasil e da América do Sul como um todo não estava nas condições naturais, mas em seus habitantes.

PASSETTI, G. Na proa do mundo. *Revista de História da Biblioteca Nacional*, ano 10, n. 113, fev. 2015, p. 72-75.

## Página 234

### Leitura e interpretação de texto: Galápagos

O arquipélago de Galápagos, que faz parte do Equador, vem sofrendo ameaças à sua biodiversidade única, constituída a partir do isolamento de populações ao longo de milhões de anos. Essas ameaças são provenientes dos impactos causados pela ocupação humana e pelo turismo cada vez mais intenso.

Os alunos podem, reunidos em pequenos grupos, pesquisar em jornais, revistas e sites a respeito do tema. Sugerimos que cada grupo escolha uma reportagem e leve o texto para a sala de aula, elaborando um roteiro de questões para interpretar e refletir sobre as informações ali presentes. Cada um pode, então, entregar o texto e a lista de questões para outro grupo, recebendo um novo texto com questões.





Fotos 593/Shutterstock

▲ A intensa atividade turística em Galápagos ameaça a preservação de ecossistemas, como o que é habitado pelo jabuti-gigante.

#### Questões sugeridas:

- ▶ É comum que ambientes naturais sejam rotas de turismo, o que gera renda para a população local, mas causa impactos ambientais. Quais iniciativas podem ser tomadas pelos governos destes locais para aliar a conservação ambiental e a subsistência da população? Faça uma pesquisa a respeito desse tema.
- ▶ Imagine e descreva quais seriam as observações de Darwin em Galápagos se elas tivessem sido feitas nas condições atuais do arquipélago.
- ▶ Pesquise qual é a importância de uma unidade de conservação como o Parque Nacional, em que são permitidas visitas. Escreva um texto sobre o tema, explicando também como devem se comportar os visitantes para reduzir os impactos na natureza.

Saiba mais: GAZETA DO POVO. Progresso ameaça Galápagos. 31 out. 2009. Disponível em: <<http://www.gazetadopovo.com.br/mundo/conteudo.php?tid=939821>>. Acesso em: 05 maio 2016.

## Temas abordados: comentários e aprofundamentos

### Página 223

#### Evolução na Biologia e no dia a dia

O termo evolução tem significado bem definido na Biologia, mas é usado, no cotidiano, com outras conotações, o que pode promover incompreensões por parte dos alunos. Segundo Martins:

Trabalhar os conceitos científicos com correção implica, entre outros aspectos, estar atento a essas possíveis confusões terminológicas e a significados de senso comum. A linguagem científica não é a linguagem cotidiana, e a percepção de que se trata de contextos diferenciados é de fundamental importância no processo (dialógico) de ensinar e aprender Ciências. (MARTINS, 2010)

O pesquisador citado incentiva o professor a valorizar, sempre que possível, a história e a filosofia da Ciência, pois são conhecimentos que nos ajudam a compreender como os conceitos foram historicamente construídos e modificados, qual é a origem dos nomes usados para descrever modelos e fenômenos e como eles sofrem mudanças de significado.

Uma boa atividade é solicitar aos alunos que pesquisem o significado de evolução em um dicionário da Língua Portuguesa e comparem-no com o conceito aprendido em aula – esta atividade está proposta na página 230, com a palavra *adaptação*. Veja a definição adaptada de um dicionário:

#### evolução

1. ato, processo ou efeito de evoluir
2. [militar] padrão formado, constituído ou simulado por uma série de movimentos, esp. de soldados, navios etc. que se dispõem em linha de batalha ou desfile militar; manobra
3. qualquer série de movimentos desenvolvidos contínua e regularmente, geralmente completando um ciclo harmonioso (evolução da ginasta; evolução de uma escola de samba)
4. movimento circular; giro, volta
5. todo processo de desenvolvimento e aperfeiçoamento de um saber, de uma ciência etc.
6. processo gradativo, progressivo de transformação, de mudança de estado ou condição; progresso (evolução de uma doença; evolução escolar de um aluno)
7. movimento periódico de um astro em torno de um outro principal; revolução (evolução dos planetas)
8. qualquer mudança nas características genéticas de um organismo ou população de uma geração para a outra;
9. teoria segundo a qual as espécies se modificam ao longo do tempo graças à variação genética e a seleção natural; evolucionismo, darwinismo. (HOUAISS; VILLAR, 2009)

Espera-se que os alunos identifiquem as definições indicadas por 8 e 9 como as relacionadas ao conceito científico de evolução, observando que o termo é aplicado tanto para descrever o processo quanto para nomear a teoria.

Fontes:

HOUAISS, A.; VILLAR, M. S. *Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa*. Rio de Janeiro: Objetiva, 2009.

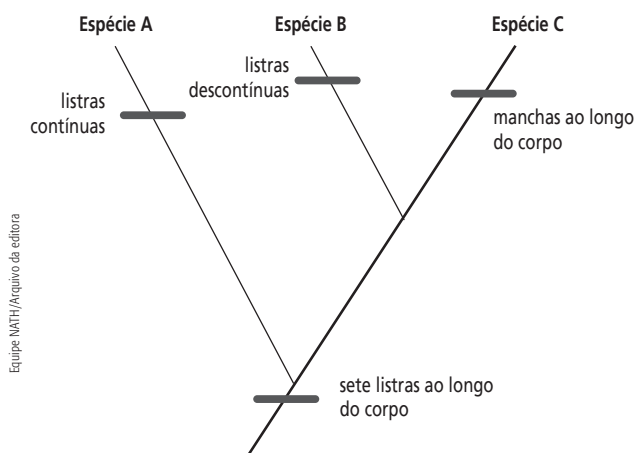
MARTINS, A. F. P. Palavras, textos e contextos. in: BRASIL. *Ciências: ensino fundamental*. Brasília: Ministério da Educação, 2010, p. 11-24 (Coleção Explorando o Ensino, v. 18). Disponível em: <[http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com\\_docman&view=download&alias=7835-2011-ciencias-capa-pdf&category\\_slug=abril-2011-pdf&Itemid=30192](http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=7835-2011-ciencias-capa-pdf&category_slug=abril-2011-pdf&Itemid=30192)>. Acesso em: 05 maio 2016.

## Página 228



## PENSE E RESPONDA

## Cladograma



## Página 235



## ATIVIDADE PRÁTICA

## Um modelo para entender a seleção natural

b) Oriente as equipes a organizarem-se de maneira que na turma sejam utilizadas ferramentas diversas. Com isso, a atividade buscará simular o máximo possível a diversidade de bicos dos tentilhões observada por Darwin: cada aluno(a) seria uma espécie de tentilhão. Para analisar os resultados obtidos, ou seja, o número de sementes capturadas e os tipos, oriente cada aluno a perceber relações entre a ferramenta escolhida e as sementes capturadas. Nesse sentido, devem ser considerados o formato e as dimensões da ferramenta e das sementes. Além disso, a própria habilidade de cada pessoa com as ferramentas deve ser levada em consideração para analisar os resultados obtidos. Por exemplo, um palito de madeira (*hashi*) pode ser manipulado de maneira distinta por cada indivíduo, levando cada um a quantidades e a tipos de sementes capturadas relativamente diferentes.

Esses elementos serão essenciais para que os alunos reflitam a respeito do conceito de adaptação e de seleção natural.

d) Com base na atividade, se um dos tipos de semente mais capturada desaparecesse, e se tal tipo fosse essencial para a dieta de determinada espécie de tentilhão, sua sobrevivência estaria em risco. Nesse caso, a diversidade de tentilhões seria prejudicada.

## Página 237



## PENSE E RESPONDA

## Resistência do meio

Existem muitos exemplos relacionados à restrição ou escassez de alimentos, o que favorece as populações que conseguem garantir sua alimentação. A resistência do meio pode atuar no controle de uma população com base, também, na competição com outras populações, na presença de parasitas e/ou de predadores.

Um exemplo observado em diversas regiões do Brasil é o da rã-touro (*Lithobates catesbeianus*), uma espécie invasora nativa da América do Norte. Criada inicialmente em ranários, foi liberada na natureza e rapidamente proliferou pelo território brasileiro. O aumento populacional da rã-touro se relaciona ao declínio de diversas espécies nativas de anuros, pois a invasora apresenta vantagens competitivas: suas fontes de alimentação são variadas e abundantes (outros anfíbios, lagartos, pequenos roedores e outros), gera grande número de descendentes em cada prole e em sua fase larval se alimenta de girinos de outras espécies.

Saiba mais:

Rã-touro no Brasil. Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. Disponível em: <[http://www.ib.usp.br/grant/Ra-touro\\_no\\_Brasil/Pagina\\_Inicial.html](http://www.ib.usp.br/grant/Ra-touro_no_Brasil/Pagina_Inicial.html)>. Acesso em: 05 maio 2016.

## Respostas às atividades

## Reverendo e aplicando conceitos

1. b) Explicação lamarckista: pelo desuso, os ossos da "cauda" foram regredindo em humanos e essa regressão foi sendo transmitida de geração a geração, até gerar o cóccix vestigial observado atualmente.

Explicação darwinista: na evolução dos humanos, o caráter "cauda desenvolvida" provavelmente não era condição fundamental para a sobrevivência. Indivíduos com cóccix pouco desenvolvido certamente apresentavam também outras características favoráveis à sua sobrevivência e reprodução. Assim, o cóccix vestigial foi ao acaso sendo selecionado durante a evolução humana, o que não ocorreu para outros mamíferos.

2. Segundo os dados da tabela, no período Devoniano os continentes estavam recobertos por mares, e é exatamente essa a idade dos fósseis de peixes encontrados. No período Permiano, os mares regrediram. Provavelmente, os peixes mortos ficaram enterrados sob condições que permitiram sua fossilização (pântanos com pouco oxigênio, formação de rochas sedimentares etc.).

5. Dizer que as bactérias adquiriram resistência remete às ideias de Lamarck, do aparecimento de características de acordo com as condições do ambiente. De acordo com a teoria da evolução por seleção natural, existem bactérias sensíveis e bactérias resistentes a um determinado antibiótico. O consumo do medicamento pode selecionar os indivíduos com resistência, pois os sensíveis morrem. Os indivíduos resistentes se reproduzem e geram descendentes com essa característica.

### Trabalhando com gráficos

7. b) Lamarck era considerado um grande especialista em invertebrados, termo que ele apresentou pela primeira vez em um trabalho publicado em 1801. O aluno poderá descobrir muitos outros fatos interessantes na biografia de Lamarck. As fontes consultadas na pesquisa devem ser citadas.

## Capítulo 12

Teoria sintética da evolução, especiação e genética de populações

### Comentários gerais

O estudo da teoria sintética da evolução envolve a compreensão dos conceitos relacionados com a genética, a biologia molecular e a seleção natural. Uma vez compreendido o tema, espera-se que os alunos sistematizem o conhecimento a respeito do processo de especiação.

A genética de populações entra nesse contexto em que são analisadas as frequências gênicas, o que significa, em termos evolutivos, modificações dessas frequências ao longo do tempo, podendo levar ao surgimento de novas espécies.

Embora existam outros mecanismos de especiação, o capítulo restringe-se à análise da especiação por isolamento geográfico, por ser mais simples e suficiente para que os alunos tenham noção da complexidade do processo de formação de novas espécies.

O capítulo aborda também a diferença entre os conceitos biológico e filogenético de espécie, considerando que o aluno possui condições, no 3º ano do Ensino Médio, de compreender essa diferença, o que pode não ser simples. A Sistemática Filogenética é uma área científica de preceitos abstratos para os alunos da escola básica e sua transposição didática não é simples.

Para auxiliar nesta tarefa, buscamos elaborar um capítulo bem dosado, esclarecendo os preceitos básicos para que o aluno compreenda como os conhecimentos de genética e os de evolução são complementares no estudo da vida.

Sugerimos algumas fontes de informação e atualização conceitual que podem ser importantes no processo de fazer essa transposição didática:

- *Entendendo a evolução*: material disponibilizado no site do Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, voltado ao professor de Biologia. Disponível em: <<http://www.ib.usp.br/evosite/evohome.html>>. Acesso em: 05 maio 2016.
- Livro *Evolução*, de Mark Ridley (3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013): com texto fluido e explicações aprofundadas que possibilitam compreender as bases da teoria evolutiva neodarwinista.
- Revista *Genética na escola*, da Sociedade Brasileira de Genética: a publicação semestral está disponível na internet e traz artigos de atualização e de reflexões sobre o ensino de genética e evolução. Disponível em: <<http://www.geneticanaescola.com.br/>>. Acesso em: 05 maio 2016.
- Livro *Ciência Hoje na escola* v. 9: Evolução (SBPC, Ed. Global, 2001): coletânea de textos escritos por cientistas e divulgadores da Ciência, abordando diferentes aspectos da teoria evolutiva (como a diferença entre macroevolução e microevolução), em uma linguagem voltada aos jovens e com dicas de trabalho com os textos em sala de aula. O livro está indicado na seção *Multimídia*, na página 250.

### Sugestões de atividades complementares

#### Página 251

#### Discussão orientada com base em um filme

A sugestão é o filme *Gattaca* (direção de Andrew Niccol, 1997, EUA, colorido, 106 min.). Trata-se de um filme de ficção científica que retrata a sociedade humana em um futuro fictício próximo, no qual o destino pessoal e profissional de uma pessoa pode ser determinado antes da concepção, pela escolha do patrimônio genético da criança em laboratórios. Os indivíduos que nascem naturalmente, sem tal processo de seleção, são considerados socialmente inferiores e chamados “inválidos”.

O filme é um recurso interessante para iniciar um debate utilizando os conceitos de genética de populações e evolução, além de discutir a respeito dos princípios éticos que envolvem a engenharia genética. Permite abordar também a questão do preconceito e das desigualdades sociais existentes no mundo. Ao final da atividade, solicite um registro pessoal, em que os alunos possam comentar suas impressões sobre o filme e sobre o debate.



## Página 254

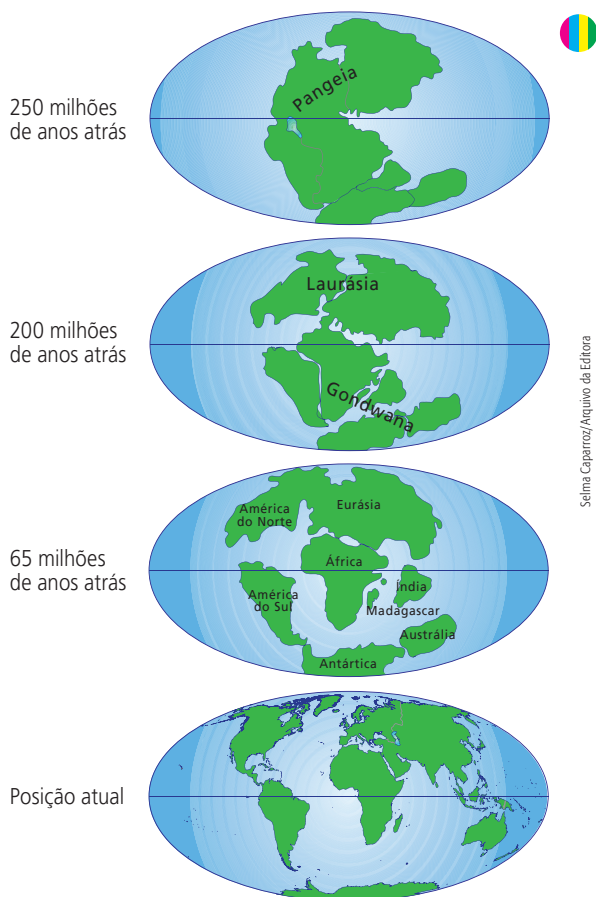
### Ema e avestruz: eventos anagenéticos e cladogenéticos em sua evolução

Sugerimos a seguinte questão, que os alunos podem resolver em dupla:

Existem diversas espécies com parentesco evolutivo próximo que ocorrem na África e na América do Sul. É o caso da ema e da avestruz. Busquem informações sobre esses animais e expliquem como devem ter surgido as espécies, descrevendo prováveis eventos anagenéticos e cladogenéticos em sua evolução.

Evidências como o registro fóssil e análises moleculares indicam que a ema, a avestruz e o emu (que vive na Austrália) descendem de um grupo ancestral que habitava a mesma área há cerca de 200 milhões de anos, quando havia o continente Gondwana. Com a fragmentação do Gondwana, populações dessas aves foram geograficamente isoladas. Ao longo do tempo, diferenças acumularam-se entre os três grupos de aves, dando origem a três linhagens distintas.

Veja na ilustração a seguir as mudanças na distribuição dos continentes devido ao movimento das placas tectônicas.



## Temas abordados: comentários e aprofundamentos

### Página 247

#### Taxa de mutação

Os tipos de mutação gênica e suas consequências foram abordados no capítulo 10 deste livro. Elas ocorrem durante a duplicação da molécula de DNA e se caracterizam por alterações na sequência de nucleotídeos; ocorrendo na sequência de um alelo, podem originar outro alelo. É importante lembrar que as mutações ocorrem tanto no material genético de células somáticas quanto no material genético de células envolvidas na formação de gametas. Do ponto de vista evolutivo, são consideradas apenas as mutações que ocorrem nos gametas, pois são eles que transmitem as características hereditárias.

As mutações nos genes aumentam o conjunto gênico da população, pois elas criam variações em um determinado loco do cromossomo. Por isso, são consideradas fontes primárias de variabilidade genética.

A taxa de mutação é uma medida das alterações de frequência de novas variantes genéticas em uma população, ao longo do tempo. Ela pode ser estimada em populações mantidas em laboratório (por exemplo, de vírus, de bactérias, de moscas-das-frutas) e geralmente são detectáveis aquelas mutações com efeitos visíveis no fenótipo, embora atualmente as técnicas de sequenciamento do DNA permitam detectar diferenças na sequência de nucleotídeos entre dois ou mais indivíduos, independentemente da condição fenotípica ser evidente ou não.

As taxas de mutação podem ser expressas por nucleotídeos, por gene, por genoma, por geração ou por ano. Elas podem variar de acordo com a espécie e até com a região do DNA em um mesmo tipo celular (regiões com repetições de nucleotídeos, por exemplo, são mais vulneráveis a mutações).

As taxas de evolução, por sua vez, são estimadas a partir da sequência de aminoácidos de uma proteína ou de nucleotídeos de uma região do DNA, comparando-se dois ou mais táxons. Essa análise é importante na elaboração de hipóteses de parentesco evolutivo. Veja:

Para duas espécies quaisquer, a idade aproximada de seu ancestral comum pode ser estimada a partir do registro fóssil. A taxa da evolução da proteína pode, então, ser calculada como o número de aminoácidos diferentes entre a proteína de duas espécies dividido por duas vezes o tempo de seu ancestral comum. Por exemplo, se as espécies forem a humana e o camundongo, seu ancestral comum, provavelmente, viveu cerca de 80 milhões de anos atrás. Se analisarmos a sequência de uma proteína de cem aminoácidos nas duas espécies, e se ela diferir em 16 sítios, então, a taxa de evolução é estimada em  $16/(100 \times 160 \times 10^6) \approx 1 \times 10^{-9}$  por aminoácido por sítio por ano. [...]

Outro número importante é para a quantidade de variação genética dentro de uma espécie em um determinado período.

Fonte:

RIDLEY, M. *Evolução*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. p. 189

## Página 248

### Seleção natural

A palavra “evolução” gerou um problema conceitual que persiste desde a época de Darwin, por ser associada à ideia de “progresso”. Darwin evitou esse termo na primeira edição da obra *A origem das espécies*, referindo-se ao processo evolutivo como “descendência com modificação”. Ao contrário de seus contemporâneos, Darwin não interpretava a evolução como sinônimo de progresso. Se fosse assim, seres primitivos como os insetos não seriam os animais mais abundantes do planeta, muito bem-sucedidos na colonização dos mais variados ambientes, entre outros exemplos.

Quando o assunto é a evolução da espécie humana, a ideia de progresso torna-se mais forte. O biólogo Stephen Jay Gould, estudioso da evolução no modelo darwinista, afirmou em um de seus textos que há “um desejo humano de nos vermos como o ponto alto da história da vida, governantes da terra por direito e por destino biológico”. Na publicidade e nas caricaturas, é comum a utilização da imagem de evolução como uma sequência de formas, que vão das mais simples até as mais sofisticadas, sugerindo uma evolução para o progresso. Por exemplo: em uma linha, vemos no canto esquerdo um chimpanzé, depois figuras de “homens da caverna” e, no canto direito, um homem com roupas de executivo. Podemos facilmente compreender que se trata de uma brincadeira com os conceitos evolutivos, mas é preciso cuidado, pois uma imagem pode valer mais que mil palavras.

Além disso, pode ser interessante exemplificar aos alunos casos em que a evolução por seleção natural não resultou em alterações significativas em um táxon ao longo das gerações. Leia a afirmação de Ridley (entendendo-se como “forma superior” os indivíduos com características de maior aptidão para o ambiente):

A seleção natural não é apenas capaz de produzir mudanças evolutivas, ela também pode fazer com que uma população se mantenha constante. Se o ambiente é constante e não surge uma forma superior na população, a seleção natural manterá essa população como está. A seleção natural pode explicar tanto as mudanças evolutivas quanto a ausência de mudanças. (RIDLEY, 2013, p. 105)

Fontes:

GOULD, S. J. Escadas e cones: coagindo a evolução por meio de ícones canônicos.

In: SILVERS, R. (Org.) *Histórias esquecidas da Ciência*. São Paulo: Editora Paz e Terra, 1997.

RIDLEY, M. *Evolução*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.

## Página 249

### Seleção artificial – Origem do milho

A história do milho (*Zea mays*) cultivado atualmente, com todas as suas variantes, teve origem há cerca de 10 mil anos, com o início da agricultura, na região onde hoje é o México. Conforme descrito na leitura do capítulo 8, essa planta resultou da seleção artificial de sementes provenientes de plantas com as características consideradas interessantes.

No registro arqueológico, o surgimento do milho parece ser repentino, em um intervalo de tempo relativamente muito curto, o que intrigou os cientistas: como ele teria surgido tão rapidamente, se o processo evolutivo geralmente é lento e gradual?

Trata-se de uma concepção errônea a respeito da evolução biológica, que fez parte da história da Ciência e que ainda está presente no senso comum. Diversas evidências mostram que pequenas alterações em certos genes podem produzir mudanças evolutivas relativamente rápidas. O processo de surgimento do milho é uma evidência de que isso pode ocorrer.

Pelos estudos genéticos, identificou-se o teosinto como a espécie selvagem que deu origem ao milho, pois essas duas plantas possuem grande semelhança em seu DNA. Ainda é possível promover o cruzamento entre teosinto e milho, gerando híbridos.

Um dos estudos mais completos a respeito da origem do milho foi realizado pelo cientista

norte-americano George Beadle, na década de 1930 (seu trabalho foi reconhecido com o Prêmio Nobel em 1958). Ele percebeu a semelhança entre o conjunto cromossômico do teosinto e o do milho, com o mesmo número de cromossomos, e promoveu cruzamentos entre essas plantas, utilizando a análise genética clássica dos descendentes para chegar à conclusão de que diferenças em apenas 5 genes eram capazes de explicar as principais diferenças entre elas.

Recentemente, o uso de técnicas moleculares comprovou existirem 5 regiões do genoma do milho e do teosinto relacionadas às características distintas entre eles. Um exemplo é o trabalho de Tsiantis, publicado na revista *Nature* (2011), identificando o mecanismo molecular que levou a modificação do gene denominado *tb1* na domesticação do milho. O gene *tb1* condiciona o padrão de ramificação do caule. O alelo condicionante do padrão pouco ramificado possui baixa frequência em populações selvagens de teosintos. Na seleção artificial, as plantas com esse alelo foram cultivadas e reproduzidas, o que explica a presença dele nas plantas de milho, que são pouco ramificadas. O alelo em questão possui uma região formada a partir da inserção de um elemento de transposição, ou transpôson. O esquema apresentado no livro foi baseado na figura apresentada no artigo de Tsiantis.

Fontes:

Genetic Science Learning Center. The Evolution of Corn. *Learn Genetics*. 22 jun. 2014. Disponível em: <<http://learn.genetics.utah.edu/content/selection/corn/>>. Acesso em: 06 maio 2016.

TSIANTIS, M. A transposon in *tb1* drove maize domestication. *Nature Genetics* v. 43, 27 out. 2011, p. 1048-1050.

## Página 250

### Deriva genética

A deriva genética é uma mudança aleatória na frequência dos alelos de uma população em função de outros fatores, não ligados a mutações nem à seleção natural. Em uma população pequena, a deriva genética pode afetar muito seu conjunto gênico e interferir em seu processo de evolução. Um exemplo de deriva genética é o princípio do fundador, em que apenas uma pequena parcela da população pode se separar da população original e iniciar a colonização de um novo ambiente.

Foi o que ocorreu na ilha de Tristão da Cunha, localizada no Atlântico Sul, quase a meio caminho entre a América do Sul e a África, e conhecida pelos seus moradores como a mais solitária ilha do planeta. A população local apresenta alta incidência de asma.

A ocupação da região teve início em 1817, quando um escocês se mudou para lá com sua família e alguns marinheiros e suas esposas, e muitas dessas pessoas tinham asma. Muito isolada, a população cresceu a partir desses primeiros colonizadores. Em 1856, alguns habitantes da ilha migraram para a América do Sul e outros para a África, ficando na ilha apenas 33 pessoas. A população cresceu lentamente e vários outros episódios de redução populacional ocorreram por acaso, como naufrágio de barcos e erupção vulcânica. Hoje a ilha tem uma população permanente de cerca de 300 pessoas e todas são, no mínimo, primos. A população sempre foi pequena, o que gerou endogamia. Além de pequena, ela sofreu redução em vários momentos, por motivos não ligados à seleção natural, mas a fatores aleatórios.

Tristão da Cunha ilustra como a história de uma população gerada pelo princípio do fundador e submetida a outros fatores também ligados à deriva genética pode moldar sua constituição genética: como seus descendentes tinham asma, a endogamia propiciou a alta proporção de alelos que causam a asma entre os seus habitantes.

Outro exemplo de deriva genética é o do **gargalo genético**, em que uma população grande sofre drástica redução de seu tamanho por alterações bruscas no ambiente.

Um exemplo ocorreu com os elefantes-marinhos do norte. Antes de 1800, milhares desses animais eram encontrados na costa da Califórnia, nos Estados Unidos da América. Entretanto, a população foi devastada entre 1820 e 1880 pela caça. Em 1884, a população era composta por apenas 20 animais!

As restrições à caça permitiram que essa população crescesse e se recuperasse, e hoje é formada por mais de 30 mil indivíduos, todos descendentes desses 20 animais iniciais. São, assim, geneticamente similares, pois têm os genes semelhantes aos que pertenciam aos poucos sobreviventes do gargalo populacional.

Fonte:

RIDLEY, M. *Evolução*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013, p. 168-183.

## Página 253

### Isolamento reprodutivo

O surgimento de barreiras internas dos organismos ao fluxo gênico é fundamental na especiação. Essas barreiras internas, de base genética, surgem nas populações como resultado da seleção natural, da seleção sexual ou da deriva genética. Vamos ver três exemplos de isolamento reprodutivo.



**1) Evolução de diferentes rituais reprodutivos:** entre populações distintas, podem surgir diferenças no momento ou época da reprodução; no caso dos animais, podem ocorrer alterações no local ou no ritual de acasalamento.

Um exemplo é o de plantas cujas flores possuem sincronia na liberação do pólen e na maturação do gineceu, sendo a época da floração de uma espécie diferente da época de floração de outra espécie do mesmo gênero. Isso impede o intercruzamento entre elas, ou seja, que o pólen das flores de uma espécie atinja flores da outra. Entre os animais, duas espécies originadas a partir de uma mesma população ancestral podem ter pequenas diferenças no ritual de acasalamento que impedem que as fêmeas de uma espécie se sintam atraídas por machos de outra espécie.

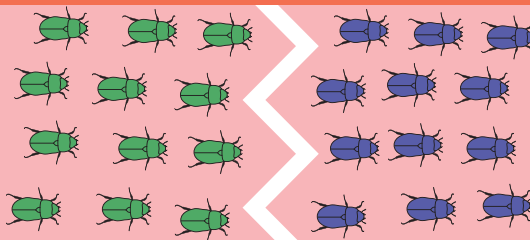
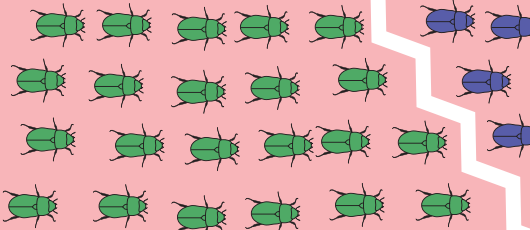
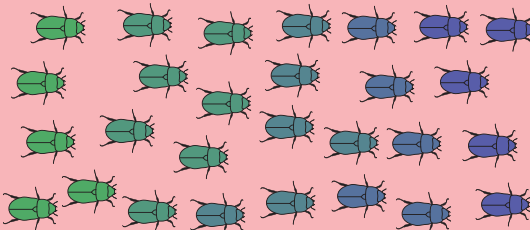
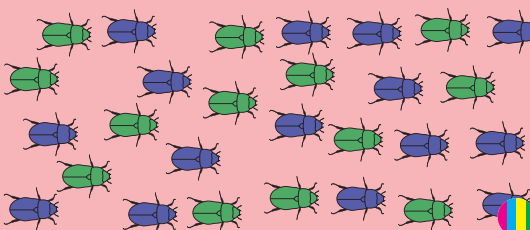
**2) Falta de “ajuste” entre órgãos sexuais:** observado principalmente em insetos, pequenas variações

nos órgãos copuladores dos machos e/ou nos genitais femininos impedem o encontro de gametas de indivíduos de diferentes espécies.

**3) Inviabilidade ou esterilidade da descendência:** nos casos em que ocorre o encontro dos gametas e a formação de zigoto, o embrião não se desenvolve ou o híbrido é estéril. Esse mecanismo tem, geralmente, explicação na incompatibilidade cromossômica.

Percebe-se que o isolamento geográfico pode iniciar um evento de especiação, mas são fundamentais as mudanças genéticas que determinam o isolamento reprodutivo para completar o processo.

Em relação ao isolamento geográfico, é importante considerar que os modos de especiação podem ser classificados de acordo com o grau de separação entre populações, sendo esses modos suficientes para reduzir o fluxo gênico entre elas. Veja a classificação na tabela a seguir.

Modo de especiação	Formação de espécies a partir de...	Representação esquemática
<b>Alopátrica</b> (alo = outros; pátrica = lugar)	... populações isoladas geograficamente.	
<b>Peripátrica</b> (peri = perto)	... isolamento de uma pequena população na região marginal (“borda”) daquela ocupada pela população maior.	
<b>Parapátrica</b> (para = ao lado)	... uma população com distribuição geográfica contínua.	
<b>Simpátrica</b> (sim = igual)	... uma mesma área, em faixa, da população ancestral.	

Eduardo Borges/Arquivo da editora

## Respostas às atividades

### Revendendo e aplicando conceitos

2. Na situação hipotética, a barreira geográfica (rodovia) interrompeu o fluxo gênico entre indivíduos da população original. Em cada nova população [A e B], os indivíduos podem ter sofrido mutações em seu material genético. Como mutações são aleatórias, diferenças genéticas devem ter se acumulado em A e B. As pressões seletivas nos dois lados da rodovia também podem ter sido diferentes. Quando indivíduos de A e B foram colocados em contato novamente, havia um mecanismo de isolamento reprodutivo, o que indica a provável formação de duas espécies distintas.

3. a) A frequência do alelo recessivo é 0,4. Veja:

$p$  = frequência do alelo dominante = 0,6

$q$  = frequência do alelo recessivo = ?

Se  $p + q = 1$ , então:

$$q = 1 - p$$

$$q = 1 - 0,6 = 0,4.$$

3. b) A frequência de homozigóticos recessivos será 0,16. Veja:

O genótipo é  $dd$ . Estima-se a frequência genotípica de indivíduos da próxima geração pela fórmula de Hardy-Weinberg:

$$p^2 + 2pq + q^2 = 1$$

( $q^2$  corresponde à frequência dos homozigóticos recessivos)

$$\text{Se } q = 0,4, \text{ então } q^2 = (0,4)^2 = 0,16.$$

3. c) A frequência será 0,84. Veja:

O genótipo pode ser  $DD$  ou  $Dd$ . Pela fórmula de Hardy-Weinberg:

$$p^2 + 2pq + q^2 = 1$$

$$p = 0,6 \Rightarrow p^2 = (0,6)^2 = 0,36$$

$$2pq = 2 \times (0,6) \times (0,4) = 0,48$$

$$p^2 + 2pq = 0,36 + 0,48 = 0,84$$

3. d) Segundo Hardy-Weinberg, uma população está em equilíbrio genético quando a frequência dos alelos de seu conjunto gênico não se altera ao longo das gerações. A população não está, portanto, em equilíbrio genético.

6. A linguagem finalista é comumente usada na divulgação científica e até mesmo por cientistas em palestras e outras comunicações. No entanto, entre cientistas, há um entendimento de que todos conhecem os fundamentos da teoria evolutiva e conseguem interpretar o uso dessa linguagem como um modo simplificado ou metafórico de expor as adaptações. Para alunos da escola básica, no entanto, são necessários cuidados para se evitar o uso dessa linguagem e evidenciá-la quando aparecer em textos ou vídeos.

## Trabalhando com gráficos

7. Se existe uma relação direta entre o comprimento do bico e o tamanho das sementes consumidas pelas aves, então espera-se que, após muitas gerações, habitando áreas apenas com plantas de sementes grandes, a população de aves apresente indivíduos com bicos maiores (gráfico C). O fator evolutivo envolvido nesse processo é a seleção natural: a variabilidade dentro de uma população, representada aqui pelos diferentes tamanhos de bicos, sofreu seleção por uma condição ambiental (alimentos constituídos apenas de sementes grandes). A seleção natural resultou na redução da variabilidade nos bicos dentro da população.

## Ciência, Tecnologia e Sociedade

8. b) A frequência de alelos mutantes em uma população isolada pode aumentar rapidamente. A expressão "a população [...]" pode ter desenvolvido "não deve ser associada à ideia incorreta de que a característica teria sido adquirida pelo uso ou desuso.

8. c) Resposta pessoal. Espera-se que os alunos identifiquem a interferência humana na natureza como um fator que altera o equilíbrio genético de populações de animais, plantas e outros organismos. Ela também cria pressões seletivas para essas populações. Um exemplo é a fragmentação de *habitats* naturais devido à construção de estradas, represas ou áreas para agricultura e pecuária: surgem barreiras geográficas e novos fatores ambientais (poluição, pragas etc.) que interferem na evolução de populações da natureza. Muitas delas são extintas como resultado de tal interferência.

## Questões do Enem e de vestibulares

12. b) A ausência de presas é caráter hereditário, determinado geneticamente. Como os caçadores matam elefantes com presas, os elefantes que nascem sem presas apresentam maiores taxas de sobrevivência, o que aumenta sua frequência na população.

13. Pelos dados do gráfico, sabemos que a frequência do alelo A ( $p$ ) é 0,6; consequentemente, a frequência de a ( $q$ ) é 0,4.

Frequência do genótipo AA:

$$p^2 = (0,6)^2 = 0,36 \text{ ou } 36\%.$$

Frequência do genótipo Aa:

$$2pq = 2 \times (0,6) \times (0,4) = 0,48 \text{ ou } 48\%.$$

Frequência do genótipo aa:

$$q^2 = (0,4)^2 = 0,16 \text{ ou } 16\%.$$

**14. a)** Em presença de malária, espera-se que a frequência do alelo *S* aumente, tendendo ao equilíbrio em relação à frequência do alelo *s*, devido ao aumento da proporção de indivíduos heterozigóticos na população. Pessoas de genótipo *ss* são susceptíveis à malária e podem morrer em decorrência da doença, e as de genótipo *SS* morrem em decorrência da anemia falciforme. Na ausência de malária, a frequência do alelo *S* tende a diminuir, pois os indivíduos *ss* não sofrem pressão seletiva negativa.

**15. b)** Segundo o teorema de Hardy-Weinberg, a evolução está relacionada à ocorrência de fatores evolutivos sobre uma população, cujos efeitos podem ser evidenciados por mudanças nas frequências gênicas ou genotípicas, em relação ao esperado para a população em equilíbrio genético. A diminuição da população de jabutis gigantes de Galápagos afetou seu equilíbrio genético, pois alterou a frequência dos genótipos; além disso, para que exista equilíbrio genético, as populações devem ser grandes.

## Capítulo 13

### Evolução humana

#### Comentários gerais

O capítulo tem início com a apresentação de uma linha do tempo simplificada, mostrando alguns eventos da história geológica da Terra e da evolução dos seres vivos. Assim, com esse início, pretendemos que os alunos percebam o surgimento da espécie humana como parte da história evolutiva da vida na Terra.

Os alunos poderão perceber que os hominídeos surgiram em período muito recente na história da Terra. Consideramos que alguns conceitos já são conhecidos dos alunos, mas uma revisão pode ser importante para a compreensão da evolução dos mamíferos, no que se refere ao surgimento da endotermia e do âmnio (ver quadro *Recorde-se* na página 263 do livro).

Em seguida o capítulo apresenta características que distinguem a espécie humana dos outros primatas e que permitiram aos seres humanos tamanho sucesso evolutivo em um intervalo de tempo relativamente curto, espalhando-se por todo o planeta, construindo tecnologias e utilizando recursos naturais das mais diversas maneiras.

Em *Vamos criticar o que estudamos?*, abordamos o darwinismo social, uma interpretação equivocada dos princípios da teoria da evolução biológica por seleção natural como forma de justificar

desigualdades sociais e preconceitos. A evolução humana é um tema que envolve muita curiosidade, mas exige cuidados em sua abordagem por ser cercado de algumas concepções errôneas, como a famosa incorreção “o ser humano veio do macaco”. Além do texto do capítulo, estimule os alunos a consultar fontes confiáveis de informações, como livros paradidáticos e sites ligados a centros universitários de pesquisa.

Para sua atualização e aprofundamento, sugerimos as fontes:

Livro *Sapiens: uma breve história da humanidade*, de Yuval Noah Harari (Porto Alegre: LP&M, 2016);

Livro *Assim caminhou a humanidade*, de Walter Neves, Miguel José Rangel Junior e Rui Sérgio Murrieta (Orgs. São Paulo: Palas Athena, 2015).

Museu Virtual da Evolução Humana, Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. Disponível em: <<http://www.ib.usp.br/biologia/evolucaohumana/>>. Acesso em: 06 maio 2016.

## Sugestões de atividades complementares

### Página 261

#### Pesquisa: sambaquis e outros indícios pré-históricos da ocupação humana no Brasil

Reunidos em equipes, os alunos podem consultar livros, revistas e sites de divulgação científica, buscando informações a respeito de vestígios antigos de populações humanas no Brasil. Dois exemplos são comentados no capítulo: Luzia, o fóssil de cerca de 11 500 anos encontrado em Lagoa Santa (MG), e as pinturas rupestres encontradas no Parque Nacional de Sete Cidades (PI).

Se houver um sítio paleontológico ou arqueológico próximo à região onde fica a escola, é interessante uma pesquisa a respeito dos registros encontrados no local e a discussão a respeito de sua importância para a Ciência.

Outro exemplo de tema a ser pesquisado são os sambaquis, encontrados no litoral brasileiro – os mais estudados são os de Santa Catarina.

Uma sugestão é que os alunos escolham o tema que desejam pesquisar e apresentem um seminário contando aos colegas o que descobriram na pesquisa. É importante que os alunos percebam o que a análise dos registros informa aos cientistas a respeito da chegada da espécie humana no continente americano. Consideramos também como objetivo da atividade sensibilizar os alunos para a importância de se preservar sítios paleoantropológicos.

Sugerimos esclarecer aos alunos, antes da execução do trabalho, quais aspectos serão avaliados e quais serão os critérios para avaliação.

Elaboramos o texto a seguir, a respeito dos sambaquis, como subsídio para a atividade ou como proposta de trabalho de leitura e interpretação. Ele permite explorar com os alunos a importância da preservação



dos sambaquis para estudos bioantropológicos. O vandalismo e a falta de conservação e fiscalização têm resultado em perda ou modificação de muitos vestígios da cultura humana pré-histórica, e muitas informações valiosas para a Ciência são perdidas. Por meio do texto também é possível saber que tipo de informação pode ser obtida no estudo de um crânio fossilizado.

### Sambaquis: vestígios de um passado distante do Brasil

Os sambaquis são montes formados por conchas de moluscos e sedimentos empilhados, descobertos em diversos pontos do litoral brasileiro. O nome “sambaqui” vem do termo tupi *tamba ki*, que significa amontoado (*ki*) de conchas (*tambá*). Alguns sambaquis chegam a ter 30 metros de altura, têm formato cônico ou semiesférico e foram construídos por povos que habitavam a costa brasileira entre 5 000 e 1 000 anos atrás. Mas quem eram estes povos sambaquieiros?

Alguns sambaquis vêm sendo estudados por bioantropólogos, principalmente aqueles localizados em um sítio arqueológico chamado Jabuticabeira 2, no litoral de Santa Catarina. Acredita-se que sua principal função era a de monumentos funerários. Esqueletos humanos foram encontrados junto dos sambaquis, sempre na mesma posição encurvada, além de vestígios de fogueiras.

Esses achados indicam que os povos possuíam ritual funerário. A grande quantidade de corpos é uma evidência de que não se tratava de povos nômades, mas de povos que se estabeleceram na região por muito tempo. Alguns pesquisadores defendem que os sambaquis eram não somente cemitérios, mas também moradias, enquanto outros acreditam que os grupos viviam nos arredores.

A análise dos esqueletos permitiu verificar que os sambaquieiros eram menores que os homens atuais, com altura média de 1,50 m. Seu corpo era robusto, com braços desenvolvidos. Uma massa óssea anômala no crânio, na região da orelha interna, que é típica de pessoas que mergulham com frequência, foi observada em crânios de sambaquieiros, indicando que eles tinham o hábito de nadar. Da água provavelmente obtinham seu principal alimento: peixes e moluscos.

Os sambaquieiros e seus vestígios constituem um registro muito antigo da presença humana na América. Uma hipótese bem-aceita é a de que grupos migratórios do homem moderno (*Homo sapiens*) tenham chegado ao continente americano pelo estreito de Bering, que une Ásia e Alasca, entre 30 e 15 mil anos atrás. Os grupos de sambaquieiros, como você já deve ter percebido, são muito mais recentes na história antropológica.

Ainda existem muitos sambaquis no litoral brasileiro e seu estudo pode revelar como era a vida dos seres humanos primitivos que habitaram nosso território. No entanto, muitos sambaquis estão desprotegidos e são destruídos, por exemplo, por indústrias que precisam obter calcário, material encontrado nas conchas.



Fabio Colombini/Acervo da editora

▲ Sambaqui no litoral de Santa Catarina.

Fontes:

SILVA, H.P.; REINHARD, K. O que comiam os humanos pré-históricos? *Ciência Hoje* vol. 39 n. 234, jan./ fev. 2007, p. 31-35.

AMORIM, C. Nos sambaquis, o passado distante. *O Estado de S. Paulo*, 6 de novembro de 2005, p. A28.

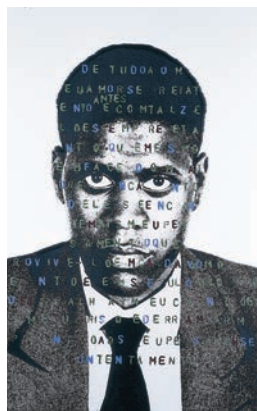
## Página 272

### Atividade interdisciplinar: a arte e a humanidade

Uma das características humanas é a expressão artística, presente desde os registros mais antigos de nossa espécie. Quais são as funções da arte para a humanidade? Analisando uma obra de arte, quais aspectos da humanidade estão ali retratados? Esses são exemplos de abordagens que podem fundamentar um trabalho em conjunto com a disciplina de Arte.

O livro cita o exemplo das pinturas rupestres, que podem servir de ponto de partida para a atividade. Há diversos estudos a respeito desses registros: a datação, suas funções sociais, as informações sobre o dia a dia das populações humanas a partir das pinturas.

Como exemplo para a questão da análise de uma obra de arte, vamos citar a instalação “Sem título”, do artista paulistano Alex Flemming (1998), exposta de modo permanente na estação Sumaré do metrô da cidade de São Paulo, em tinta cerâmica sobre vidro. Sobre fotografias em preto e branco de diferentes pessoas, foram escritos poemas da literatura brasileira – um poema sobre cada rosto.



Divulgação



Divulgação

No rosto da mulher de traços orientais, por exemplo, estão os primeiros versos do poema *Motivo*, de Cecília Meireles: “Eu canto porque o instante existe e minha vida está completa. Não sou alegre nem sou triste: sou poeta”.

Solicite aos alunos que opinem a respeito da obra: que sentimentos e impressões ela desperta? Em seguida, peça aos alunos para relacionar a obra com o seguinte aspecto: as pessoas compartilham as características de nossa espécie e, ao mesmo tempo, cada uma é única. Espera-se que os alunos percebam que cada pessoa tem sua “poesia interna”. A diversidade humana é produto de interações de diferentes componentes, tanto aqueles próprios de cada sujeito (genéticos, morfológicos, estruturais), como os que lhe são externos (fatores ambientais, culturais, sociais e históricos). Essas interações se fazem presente desde o momento da fecundação até a morte de cada pessoa.

Saiba mais:  
Alex Flemming. Museu de Arte Contemporânea da Universidade de São Paulo.  
Disponível em: <<http://www.mac.usp.br/mac/templates/projetos/seculox/modulo6/flemming/index.html>>. Acesso em: 06 maio 2016.

## Temas do capítulo: comentários e aprofundamentos

### Página 261



### REÚNA-SE COM OS COLEGAS

#### Paleontologia e Arqueologia

Existe muita confusão a respeito desses dois termos na mídia e no senso comum, por isso esta atividade de pesquisa pode ser interessante.

A Paleontologia é o campo da Ciência que estuda a vida no passado da Terra, analisando mudanças ao longo do tempo geológico. A Arqueologia é a Ciência que estuda as culturas e os modos de vida da humanidade no passado.

A seguir, há sugestões de fontes de consulta que podem ser usadas pelos alunos.

Saiba mais:  
Colecionadores de ossos. Disponível em: <<http://scienceblogs.com.br/colecionadores/2013/04/paleo-x-arqueo/>>.

Museu de Arqueologia e Etnologia Americana, Universidade Federal de Juiz de Fora. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/maea/>>. Clicando em “Sítios”, há uma relação dos sítios arqueológicos pesquisados e fotos, que permitem ao aluno compreender um pouco mais como é o trabalho de campo de uma equipe de arqueólogos.

PESSIS, A. M. Como trabalham os arqueólogos. *Ciência Hoje das Crianças*. Disponível em: <<http://chc.cienciahoje.uol.com.br/como-trabalham-os-arqueologos/>>.

Acessos em: 06 maio 2016.

### Página 263

#### Representação da história da Terra

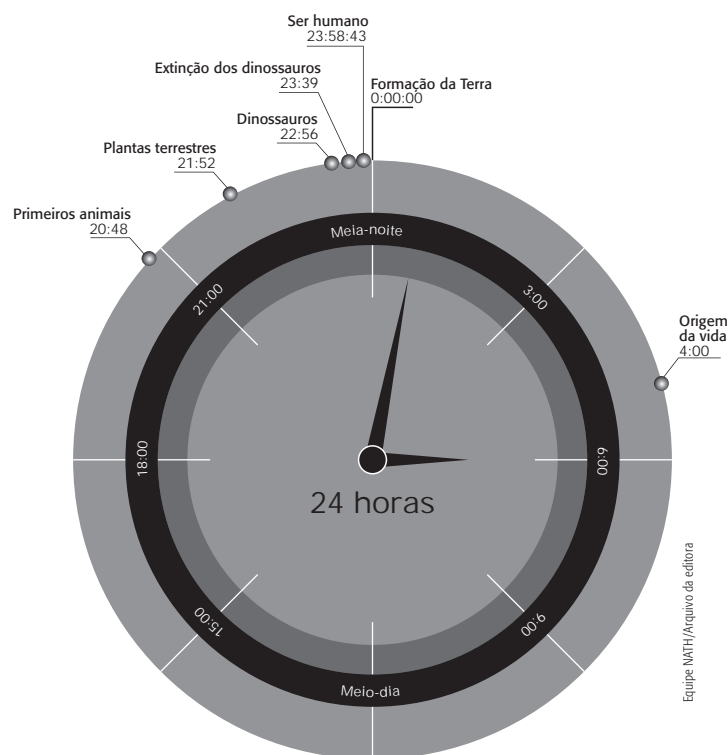
Professor(a), sugerimos uma abordagem da história da Terra em conjunto com a área de Geografia. Esse tema permite o estudo de tópicos como a estrutura do planeta, a formação de rochas sedimentares, os processos de fossilização e o modo como a posição relativa dos fósseis em rochas estratificadas indica uma sequência temporal para os cientistas. Outros assuntos que podem ser abordados nesse projeto de trabalho são a tectônica de placas, a datação absoluta de rochas e fósseis, por diversos métodos, e os depósitos de fósseis encontrados no Brasil.

A interpretação da tabela com a história da vida na Terra pode não ser simples em um primeiro momento. No entanto, espera-se que, ao analisá-la, os alunos percebam que o surgimento da espécie humana ocorreu muito recentemente na evolução dos seres vivos. É interessante, também, que eles percebam que durante a maior parte da história geológica da Terra não havia animais, plantas ou fungos. Os primeiros seres vivos provavelmente surgiram cerca de 1 bilhão de anos após a formação do planeta e durante cerca de 3 bilhões de anos havia apenas micro-organismos, nos mares primitivos.



### PENSE E RESPONDA

a) Veja a seguir a representação da história da Terra em 24 horas:



A seguir, informações complementares e aprofundamentos a respeito de tópicos relacionados à escala do tempo geológico.

### Como surgiu a escala do tempo geológico

No início do século XIX, o inglês William Smith elaborou um mapa geológico da Grã-Bretanha com base na análise de rochas sedimentares, considerando o posicionamento das camadas e dos fósseis nos estratos rochosos e interpretando as descontinuidades nesses estratos. Essa técnica de análise tornou-se o método adotado pelos cartógrafos e pelos geólogos, que passaram a utilizar o registro fóssil para ordenar eventos na história da Terra.

A partir desses estudos, tornou-se evidente para os cientistas que o planeta Terra possuía uma longa história, e não apenas alguns milhares de anos, como se supunha até o século XVIII. Para organizar o estudo do passado da Terra, estabeleceu-se o arranjo em eras, períodos e épocas, utilizado até hoje. É importante ressaltar que, até então, não havia compreensão dos processos evolutivos.

Os intervalos de tempo, organizados em eras, períodos e épocas, eram definidos por um conjunto específico de fósseis. Os nomes desses intervalos foram elaborados com base na região onde os fósseis foram encontrados, ou em alguma característica da região. O período Devoniano, por exemplo, recebeu este nome porque fósseis daquele período foram encontrados na região de Devonshire, Inglaterra. O Carbonífero, por sua vez, recebeu tal nome porque os fósseis que caracterizam este período foram encontrados em estratos ricos em carvão.

### Éons e eras

Os dois maiores eventos de extinção em massa que ocorreram na história da Terra – um no final do Permiano e outro ao final do Cretáceo – foram identificados pelos cientistas como grandes descontinuidades em estratos rochosos. Isso significa que grande quantidade de grupos fósseis deixam de estar presentes em rochas mais recentes, marcando a época em que ocorreram as extinções. Com base nesses dois grandes eventos de extinção, os especialistas organizaram os períodos em três eras: Paleozoica, que significa “vida antiga”; Mesozoica, “vida intermediária”; e Cenozoica, “vida recente”.

As eras foram agrupadas em categorias que abrangem intervalos de tempo ainda maiores: os éons. A classificação em éons é mais recente, tendo sido proposta já no século XX.

Os éons são os seguintes – do mais antigo para o mais recente:

- › Hadeano: 4,6 a 3,85 bilhões de anos atrás, do qual praticamente não existe registro geológico;
- › Arqueano: 3,85 a 2,5 bilhões de anos atrás, no qual provavelmente ocorreu a origem das primeiras células, ou seja, dos primeiros seres vivos;
- › Proterozoico: de 2,5 bilhões de anos a 542 milhões de anos atrás, no qual predominou a vida unicelular e os primeiros multicelulares, no ambiente marinho;
- › Fanerozoico: de 542 milhões de anos atrás até o presente. Esse nome significa “vida visível”, em referência ao registro fóssil abundante, tanto de micro-organismos quanto de grandes plantas e animais.

Informalmente, os cientistas muitas vezes referem-se aos éons anteriores ao Fanerozoico como Pré-Cambriano. Considerando o nível escolar a que esta obra de Biologia se destina, optamos por utilizar o termo Pré-Cambriano na tabela apresentada na página 264 do livro.

Da mesma forma, justifica-se a não apresentação de épocas, as subdivisões dos períodos.

Em diferentes fontes de consulta, é possível encontrar pequenas diferenças quanto às datas que definem os intervalos de tempo.

Fonte:  
TEIXEIRA, W. et al. *Decifrando a Terra*. 2. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009.

### Os intervalos de tempo na escala geológica

Os alunos podem estranhar a indicação da origem da Terra em 4600 milhões de anos. Não seria mais correto indicar 4,6 bilhões de anos?

A escala do tempo geológico está calibrada em milhões de anos (Ma) e, por isso, todos os intervalos são expressos nessa unidade.

Assim, indicam-se na tabela valores como 4600 milhões de anos, 2500 milhões de anos, e outros.

A época mais recente do período Quaternário é o Holoceno. Essa época é indicada, nas tabelas de tempo geológico, tendo início há 0,01 milhão de anos até o presente.

Pode ser interessante comentar com os alunos que, embora a escala do tempo geológico tenha sido elaborada em meados do século XIX, apenas no século seguinte as idades absolutas, em milhões de anos, foram estabelecidas. Isso porque, com a



descoberta da radioatividade, surgiram métodos de datação de rochas. Conforme sugerimos anteriormente, esse tema pode fazer parte de um projeto de trabalho mais amplo. Os professores das áreas de Física e Química podem, nesse contexto, trabalhar o conceito de radioatividade.

### Configuração relativa dos continentes

Professor(a), na página 265 está representada a configuração relativa das massas continentais ao longo da história da Terra. É importante salientar, aos alunos, que utilizamos o termo “configuração relativa” porque em todos os desenhos do globo terrestre se toma por referência a linha do equador.

Os alunos poderão reparar que houve deslocamento dos blocos emersos de terra e formação de oceanos. Esse deslocamento continua até hoje e é explicado pela tectônica de placas. O tema permite integração com a área de Geografia.

Se as placas tectônicas se deslocam continuamente, por que a configuração atual dos continentes nos parece definitiva? Tal questão pode ser discutida com os alunos, levando-os a refletir a respeito das diferentes escalas de tempo. O intervalo de tempo de uma vida humana pode ser considerado ínfimo quando comparado aos intervalos do tempo geológico.

### Extinções em massa

Assim como o surgimento de novas espécies (especiação), a extinção de espécies é um processo natural na evolução dos seres vivos. Esse processo natural é chamado extinção de fundo.

Na história da Terra, porém, ocorreram eventos em que a taxa de extinção de táxons aumentou abruptamente, durante um intervalo relativamente pequeno de tempo. Esses eventos são chamados, pelos cientistas, de extinções em massa.

Até o momento, foram identificadas diversas extinções em massa na história da Terra, sendo cinco os maiores eventos. A maior de todas é provavelmente a extinção em massa que ocorreu ao final do período Permiano, em que cerca de 90% dos táxons existentes desapareceram. Essa estimativa é feita com base no registro fóssil. Diversas plantas, invertebrados e a maioria dos vertebrados terrestres daquele período foram extintos.

Uma extinção em massa está relacionada a mudanças ambientais drásticas, que eliminam as chances de sobrevivência de grande número de espécies. São exemplos dessas mudanças grande atividade vulcânica, alterações no nível do mar e até impacto de asteroides com a superfície terrestre.

Este último fator foi provavelmente a causa da extinção em massa ocorrida ao final do período Cretáceo. Estima-se que dois terços das espécies da Terra tenham desaparecido. Por ser a mais recente das extinções em massa, há muitas evidências que permitem aos cientistas recompor a diversidade daquele período, as características ambientais e as prováveis causas das extinções. Todos os dinossauros (com exceção das aves) foram extintos nesse evento. As principais evidências que sustentam a hipótese de colisão de um asteroide com a Terra são uma cratera de 160 m de diâmetro no Golfo do México (Cratera de Chicxulub) e depósitos geológicos contendo irídio nos estratos que marcam a transição entre Cretáceo e Terciário. Tal impacto teria causado maremotos, terremotos e nuvens densas de poeira, que teriam encoberto o Sol por muitos meses.

Após um evento de extinção em massa, contudo, ocorre o processo de irradiação adaptativa de diversos grupos de seres vivos, recompondo assim a biodiversidade do planeta Terra.

Fonte:

Mass extinction. *Understanding evolution*. University of California Museum of Paleontology. 22 ago. 2008. Disponível em: <[http://evolution.berkeley.edu/evolibrary/article/side\\_0\\_0/massexinctions\\_01](http://evolution.berkeley.edu/evolibrary/article/side_0_0/massexinctions_01)>. Acesso em: 9 jun. 2013.

## Página 263



### RECORDE-SE

### Homeotermia e pecilotermia

Quanto à variação de temperatura do corpo, um animal pode ser homeotermo ou pecilotermo. O animal homeotermo não apresenta variação na temperatura corpórea em resposta à temperatura do ambiente. Já a temperatura corpórea de um animal pecilotermo varia de acordo com a temperatura do ambiente. Quanto à forma de obtenção de calor, um animal pode ser endotermo ou ectotermo. Um animal endotermo consegue manter sua temperatura interna constante com mecanismos endógenos, ou seja, com seu metabolismo. Já o animal ectotermo não consegue, apenas por mecanismos endógenos, manter sua temperatura interna constante.

## Página 268

### Os primeiros hominídeos

Outras características que podem ser discutidas com os alunos em relação ao desenvolvimento da linhagem da espécie humana são: a face mais achatada em relação aos grandes primatas; os tipos de dentes e sua organização na arcada. Nos seres humanos a disposição dos dentes é em “U”, diferindo da disposição retangular da arcada dentária dos gorilas. A linhagem humana pôde apresentar uma alimentação mais diversificada com essa disposição da arcada.

## Página 275

## LEITURA

## 1) O homem de Piltdown

a) O aprimoramento de técnicas de estudo de fósseis e o conhecimento a respeito da anatomia comparada de seres humanos e outros primatas permitiram reavaliar o crânio apresentado e a identificação da fraude.

b) Os cientistas submetem seus resultados e conclusões, com base em estudos realizados, à comunidade científica, por meio de publicações específicas. Assim, as pesquisas se tornam passíveis de novos testes e contestações. O confronto entre ideias só tem a fortalecer o desenvolvimento dos conhecimentos científicos. Essa postura se fundamenta na ética, e busca a confiabilidade das pesquisas.

## Respostas às atividades

## Reverendo e aplicando conceitos

3. A diversidade de seres vivos sofreu mudanças ao longo do tempo, relacionadas com profundas alterações no clima, no relevo e na posição dos continentes e oceanos. Um exemplo é a fragmentação do continente Pangea, que se iniciou a cerca de 250 milhões de anos. Esse evento, determinado pela tectônica de placas, provocou o surgimento de dois grandes continentes: Laurásia e Gondwana.

9. a) **Incrustação** – ocorre revestimento, por determinadas substâncias minerais, de ossos ou de artefatos produzidos por seres humanos.

**Mumificação** – ocorre imersão do corpo humano em gelo ou tratamento proposital para preservação do corpo, como faziam os egípcios.

**Recristalização** – há rearranjo da estrutura cristalina dos minerais presentes no esqueleto ou em artefatos humanos.

**Mineralização** – há deposição de substâncias minerais em cavidades de ossos.

**Moldagem** – ocorre preenchimento de partes de esqueleto ou artefato humanos por sedimentos, ou há moldagem de suas partes externas.

9. b) Uma sugestão de roteiro que permite compreender o processo de fossilização por mineralização está na página 369 deste Manual.

10. Professor(a), é importante analisar com os alunos as características de uma reconstituição artística, como as que estão presentes nas tabelas das páginas 264 e 265 do livro. Cada período está representado por uma paisagem com uma amostra dos seres vivos que nele existiram.

A aparência de animais e plantas já extintos é deduzida com base na análise de fósseis e na comparação com formas atuais aparentadas. Por meio dessas informações básicas, é feita a interpretação do artista, em relação a cores, por exemplo.

As imagens não representam toda a diversidade existente em dado período. Vamos tomar como exemplo o período Jurássico, famoso pela diversidade de dinossauros entre a fauna terrestre. Naquele período também existiram ambientes aquáticos, regiões úmidas e regiões áridas, zonas quentes e zonas frias da superfície da Terra. Assim, diferentes ecossistemas coexistiam naquele período, ou seja, não havia apenas dinossauros. O surgimento de novas espécies de répteis não significa que naquele tempo não surgiram também novos grupos de bactérias, de protistas, de plantas, de cnidários, de insetos, de peixes etc.

Fonte:  
GOULD, S. J. Escadas e cones: coagindo a evolução por meio de ícones canônicos. In: SILVERS, R. B. (Org.) *Histórias esquecidas da Ciência*. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1997. p. 35-60.

## Ciência, Tecnologia e Sociedade

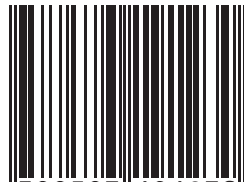
13. b) Segundo o Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional – Iphan, existem atualmente cerca de 17 500 sítios arqueológicos no Brasil, de acordo com cadastro realizado pelo Sistema de Gerenciamento do Patrimônio Arqueológico. Para informações a respeito dos sítios arqueológicos cadastrados, há um serviço de busca que pode ser feito por região.

Disponível em: <<http://portal.iphan.gov.br/pagina/detalhes/236>>.  
Acesso em: 06 maio 2016.





ISBN 978-85-8319-123-0



9 788583 191230